

宇宙に生きる

Living in Space

宇宙からひも解く
新たな生命制御機構の統合的理解

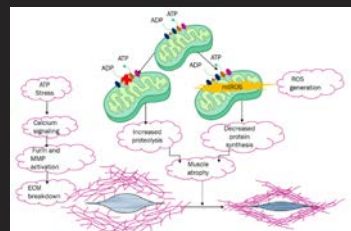
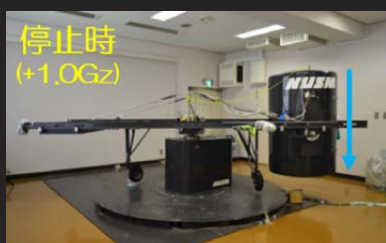
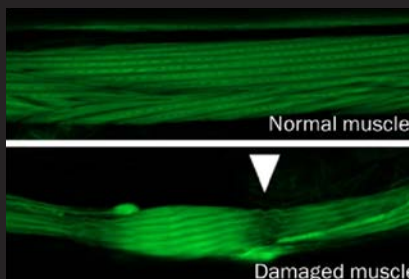
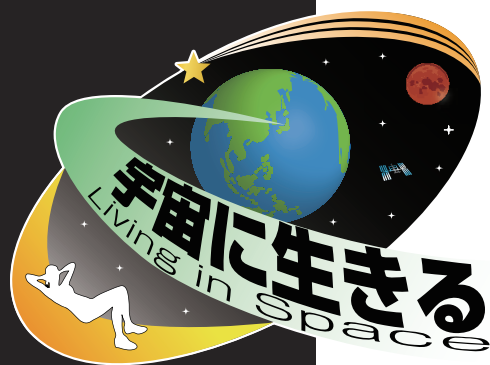


Figure 2: Mitochondrial dysfunction directly causes muscle atrophy through ECM breakdown. In case of mitochondrial dysfunction, there is an upregulation of intracellular calcium which leads to F-actin activation. F-actin then further activates MMPs which degrade collagen, an important step leading to muscle atrophy.





▶ C O N T E N T S

▶ 領域代表あいさつ	02
▶ 施設紹介	03
▶ 成果報告	07
▶ イベント報告	15
▶ 国際支援活動報告	19
▶ 若手研究者紹介	31
▶ 領域名簿・編集後記	33

表紙について

- ▶ 上 / 2017 年度第 1 回全体会議（宮城・秋保温泉）参加者の集合写真（p16）
- ▶ 左中上 / 「宇宙に生きる」国際シンポジウム（一橋講堂）の様子（p15）
- ▶ 右中上 / 若手研究者紹介・成果 1（p31）
- ▶ 左中下 / 若手研究者紹介・成果 2（p31）
- ▶ 右中下 / H29 若手の会夏合宿（松本）に参加したメンバーの集合写真（p18）
- ▶ 下 / 宇宙医学へのヒト用遠心人工重力装置（p3）



新学術領域研究「宇宙に生きる」 3年目にあたり

こんにちは、領域代表の古川聡と申します。

医師かつ宇宙飛行士である私は平成 23 年、5 か月半の宇宙滞在で極限的ストレスを経験しました。それは例えば無重力による骨格筋の萎縮、体液シフトによる頭重感、閉鎖環境による体内リズムの不調、宇宙放射線被ばく、微生物リスク、等々。「これらは相乗的に作用するのでは？地上でも関連する問題があるのでは？」との問いから、統合的な連携研究が必要との強い認識に至りました。宇宙で遭遇する生物学的リスク・ストレスの解明とそれらの回避・軽減を目指し、同時に現代の超高齢化・ストレス社会の克服につなげたい。そう願い、新学術領域研究チームの結成を決意しました。平成 27 年度から設立が認められた、新学術領域研究「宇宙からひも解く新たな生命制御機構の統合的理解」（略称：宇宙に生きる）は、平成 28 年度から公募研究班 28 班の仲間を加え、3 年目を終えようとしています。

この間、総括班会議、キックオフミーティング、年度初めの年度計画報告会、年度末の成果報告会（クローズド）の開催、平成 29 年 3 月には第 1 回国際シンポジウム「International Symposium on Living in Space 2017」を開催し、新しい研究領域開拓の準備をしてきました。研究面では、本領域ならではの特殊研究施設である閉鎖環境適応訓練設備やヒト用小型遠心人工重力装置を利用した研究、さらには新たな模擬微小重力＋放射線同期照射システムの開発など、様々な共同研究の準備も進めてきました。また、若手の会を発足させ、若手の会主催の夏合宿、講演会などを通して若手研究者のネットワークを広げて、その育成にも力を注いでいます。

宇宙から生命を俯瞰することによって、「当たり前前に過ぎてしている地球環境に秘められた生命機能を発見できる」と考えています。さらに発展させて、宇宙環境を起点とした生命恒常性の維持とリスクの学理構築を目指します。この研究により、宇宙に生きる安全を担保するとともに、生体の重力依存性による筋萎縮、前庭系や循環器系への影響、閉鎖環境ストレス、睡眠障害、放射線被ばくの影響、さらにそれらの複合的な関与などを解明し、高齢化・ストレス社会の克服や安心な環境づくりへも貢献したいです。さらに、若手を育成し、若者の夢を育む研究を目指します。

平成 30 年 2 月吉日

領域代表

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

上席研究開発員

古川 聡

日本大学の保有するヒト用小型遠心人工重力装置について

A03-2 研究代表者／岩崎 賢一（日本大学医学部社会医学系衛生学分野）

●連携研究者／小西 透（日本大学医学部社会医学系衛生学分野）

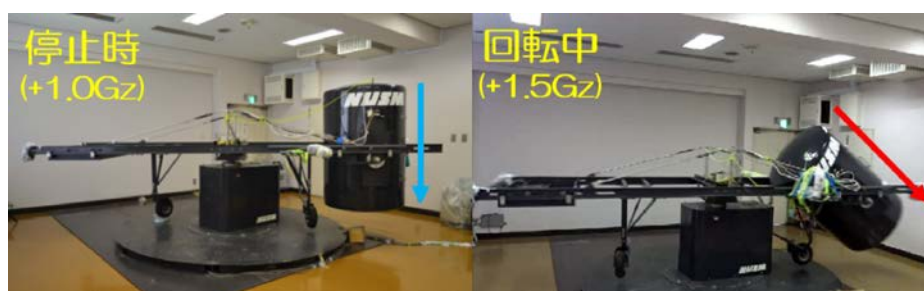
▶ ヒト用遠心人工重力装置とは

ヒト用遠心人工重力装置は、物体が回転する際に回転の中心から外側に向かって生じる遠心力をヒトに作用させ、様々な重力環境にヒトを曝露させることを可能とする装置です。その歴史は古く、200 年以上前から様々な研究、病気の治療、パイロットの適性評価・訓練等に使用されていますが、重力がヒトに及ぼす影響は未だ明らかとなっていない点が多く、現在も様々な研究が進められています。装置の回転中は、「地球上の重力（1 G：約 9.8 m/sec^2 ）」と「回転により生じる遠心力」を合成した大きさと向きで模擬重力がヒトに作用します。遠心力の作用する方向を調整することにより、さまざまな方向の重力環境を模擬することが可能ですが、日本大学の保有するヒト用遠心人工重力装置は頭から足方向（+G z 方向）の重力環境を模擬することを目的としています。

▶ 宇宙医学へのヒト用遠心人工重力装置の応用

宇宙滞在に伴う様々な人体の変化は宇宙滞在特有の環境因子によって起こると考えられており、その主要因子として無重力（微小重力）環境への曝露が挙げられます。そのため、宇宙滞在中に重力環境に曝露することが、宇宙滞在に伴う様々な人体の変化の予防・軽減に有効ではないかと考えられています。この宇宙滞在中の重力環境への曝露を可能にするのがヒト用遠心人工重力装置です。

これまでに様々な研究が行われていますが、宇宙滞在に伴う人体の変化の予防・軽減に有効と考えられる重力負荷の程度や時間などについては様々な議論があり、確定していません。しかしながら、宇宙への装置の運搬や設置等の課題を考えると、現時点では大型の遠心人工重力装置を用いることには高いハードルがあるため、まずは小型の遠心人工重力装置を用いた方法を実現するため、様々な研究が進められています。



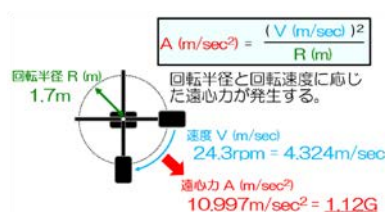
▲図1 日本大学ヒト用小型遠心人工重力装置

▶ 日本大学ヒト用小型遠心人工重力装置について

日本大学ヒト用小型遠心人工重力装置（図1）は、第一医科株式会社（東京都文京区）の製造した回転半径は約 1.7 m の装置であり、導入から既に約 30 年が経過していますが、必要に応じて改良を加え、いまだ現役で様々な実験に使用しています。

本装置はヒトがゴンドラ内の椅子に着席した状態で回転します。図2は装置を上からみたシェーマです。物体が回転する際、回転速度の2乗を回転半径で除した遠心力が生じます。図3は装置を横からみたシェーマです。回転中は回転による慣性力によりゴンドラは中心に向かって傾きます。その際、回転による遠心力と地球上の重力（+1.0 G）の合成ベクトルが、ゴンドラ内の被験者の

頭から足方向への重力として作用します。本装置で +1.5 Gz の環境を模擬しようとした場合、装置を毎分約 24 回転させることによって +1.12 G の遠心力を発生させます。+1.12 G の遠心力と地球上の重力 +1.0 G の合成ベクトルとして +1.5 G がゴンドラ内の被験者の頭から足方向に作用します。この +1.5 G 環境では、体重が 1.5 倍になった様な感じであり、手を上げることに通常の 1.5 倍の力が必要となります。



▲図2 装置を上から見たシエマ
(数値は +1.5Gz 負荷時のもの)



▲図3 装置を横から見たシエマ
(数値は +1.5Gz 負荷時のもの)

本装置には様々な医療機器を搭載することができ、回転中も測定結果を外からモニターしたり記録したりすることが可能です。現在は、一般的な心電図や血圧を計測する機器に加え、常に連続的に血圧を計測する機器や、脳の血流量を計測する機器などを搭載して実験を行っています。実験中のゴンドラ内の被験者の様子は図4のようになっています。



◀図4 ゴンドラ内の様子（計測機器を装着した状態）
装着機器 ※（）内は計測項目
・心電図計（心電図波形・脈拍数）
・マンシット血圧計（血圧）
・連続血圧計（連続血圧・動脈圧波形）
・パルスオキシメーター（末梢動脈血酸素飽和度）
・カブノメーター（呼気終末二酸化炭素濃度・呼吸数）
・経頭蓋ドブラ血流計（脳血流速度・流速波形）
・近赤外分光計（局所血液酸素飽和度）

▶ 日本大学での近年の研究成果の概要

頭から足方向への重力が 1.5 倍（+1.5 Gz）となる環境では、脳の血流が低下していることが確認されました。また、この脳の血流低下を補うための調節機能が働いていることが確認されました。（Iwasaki et al. J Appl Physiol. 2012）

頭から足方向への重力が 1.5 倍（+1.5 Gz）となる環境では、血圧を維持しようとする自律神経の働きが減弱していることが確認されました。（Yanagida et al. Auton Neurosci Basic Clin. 2014）

ヒトを様々な重力環境に曝露したところ、負荷する重力が大きくなればなるほど、脳の血流が低下することが確認されました。（Ogawa et al. Environ Health Prev Med. 2016）

▶ ヒト用小型遠心人工重力装置を用いた今後の研究構想

平成 29 年度より新たに近赤外分光血流計を搭載し、非侵襲的かつ簡便な脳血流の評価法として脳局所血液酸素飽和度の有効性について評価を進めています。また、「宇宙に生きる」を通じた共同研究として、筑波大 松崎班（A02-3）の実施する言語流暢性課題（VFT）と多電極 fNIRS（functional near infra-red spectrograph）による前頭葉機能評価を組み合わせた実験系と、我々の実施する経頭蓋ドブラ血流計による脳血流評価を統合し、ヒト用小型遠心人工重力装置を用いた実験を行うための準備実験を始めています。

宇宙環境を模擬した疑似微小重力 + 放射線同期照射システム

A03-2 研究代表者／高橋昭久（群馬大学・重粒子線医学研究センター）

●連携研究者／池田裕子（群馬大学・未来先端研究機構）
吉田由香里（群馬大学・重粒子線医学研究センター）

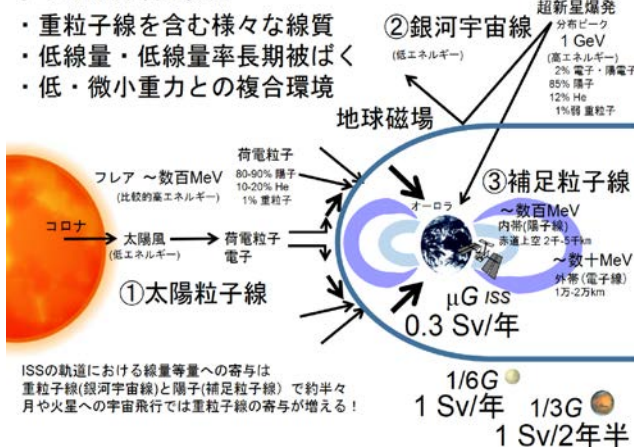
▶ 宇宙放射線環境

宇宙空間は、①太陽からの粒子線、②超新星爆発によって放出された銀河宇宙線、③地球磁場に補足された粒子線など、線質の異なる混合放射線が、低線量・低線量率で降り注いでいる。ISSで浴びる放射線量は地上の約100倍で、船外活動では船内のさらに約5倍の放射線に曝される。突発的に太陽表面で大規模な爆発が生じると、比較的高い線量を被曝する可能性がある。月は大気がなく、地球磁気圏を超えた深宇宙では、特に重粒子線の被曝量が増す。月や火星での長期滞在は、これまでのミッション以上にがんや白内障の発症リスクが高くなり、中枢神経系や免疫機構への悪影響が危惧されている。さらに、宇宙空間は微小重力環境であり、月や火星では地上の1/6、1/3の重力環境である（図1）。

月や火星で健やかに暮らすためには、宇宙放射線のみならず、地球と異なる重力環境との複合影響を明らかにすることで、リスクを正しく評価することが緊詰の課題である。

しかしながら、多くの研究者が宇宙放射線と微小重力の相互影響を調べてきたが、宇宙実験という制限のもと、再実験が困難なことから、不明な点が多いのが現状である。そこで、地上実験で模擬する実験システムの開発が待ち望まれてきた。

宇宙放射線環境

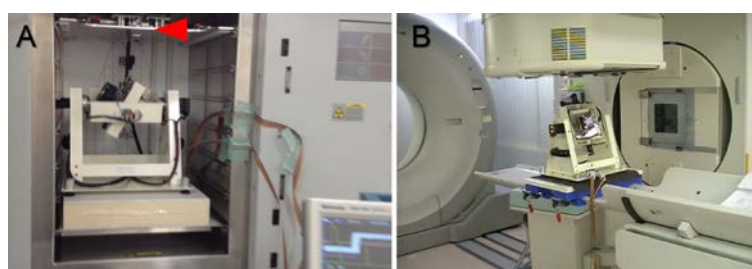


▲図1 宇宙放射線環境の特徴

▶ 疑似微小重力 + 放射線同期照射システム

我々は、宇宙空間に特徴的な微小重力と放射線との複合影響を調べる切り札として、「世界初の疑似微小重力 + 放射線同期照射システム」の開発を、本新学術で実現した [1, 2]。疑似微小重力環境は、3D クリノスタット装置（W 28 cm × D 28 cm × H 35 cm）を用いた。直交する2軸により3次元回転させて重力方向を連続的に変化（X軸 66度/秒：Y軸 78度/秒）させることで、搭載試料が重力刺激を受ける前に重力影響をキャンセルした。また、放射線の遮蔽と0.2秒で開閉可能な高速シャッターを作製し、3D クリノスタットの回転センサーの信号から、1分毎に搭載試料が水平に位置したときのみX線同期照射することを実現した [1]。現在使用しているX線照射装置（MultiRad225、Faxitron Biophysics, LLC、AZ、USA）は密閉型で200 kV、14.6 mA、0.3 mm アルミフィルターの条件である。この装置は密閉式のため、放射線業務従事者等安全講習会の受講は必要ない。幸いにも本学は、国内の大学で唯一の重粒子線治療装置を有しており、この重粒子線加速器（炭素線、290 MeV/n、50 keV/μm）および呼吸同期照射システムを組合せることにより、炭素線同期照射システムを開発した [2]。生物実験として月に2回治療終了後に使用することが可能である。対照として1G環境の静置台も作製し、3D クリノスタットとともに、線量分布の均一性に優れており、ほぼ同じ線量率で正確なX線および重粒子線照射可能なことを性能評価した。照射野は約5 cm × 10 cmで試料台の反面に相当する。現在、両システムとも月での1年間の滞在や火星への2年半に渡る宇宙探査で想定されている被曝量の1 Gyを約30分間で照射することができる。工夫により、2桁程低い線量の照射も可能である。照射サンプルとしては、培養細胞を想定しており、宇宙実験で実績のある密閉培養容器DCCチャンバーを2個セット可能

であり、このチャンバーの特殊形状に合わせた試料台を作製した。CO₂ インキュベータ外であるにも関わらず、ペルチェを用いることで試料への均一な熱伝導と安定的な温度制御も実現した。現在、汎用性を高めるため、96 穴プレートでも照射可能な試料台の作製をすすめている。なお、照射台の耐荷重は 1.0 kg である。他の小型動植物・微生物などを試料とすることも可能と考えている。



◀図2 疑似微小重力 + 放射線同期照射システム
A, X 線同期照射システム、矢尻は高速シャッター
B, 重粒子線同期照射システム

これまでの多くの地上実験は、照射中は 1G で、照射前後にクリノスタットで回転させる方法が用いられてきた。照射のタイミングによって真逆の結果や、複合影響が見られないことも報告されている [3]。宇宙空間での状況を模擬するには同時での照射が求められてきた。1 分おきに 0.2 秒間のパルス照射であることと、宇宙空間に比べて線量率が高いなどの問題があるものの、生物学的効果の高い重粒子線（一粒子でも飛跡に沿って重篤な DNA 切断を引き起こす）を同時に照射できる点で、世界から注目されている。X 線照射システムと合わせて利用することで、我々の開発した装置が、プラットフォームとして本領域の研究を深化させることに寄与することを期待している。

本システムの使用を希望される場合は、我々と共同研究の契約を結んでいただくことで実施可能となる。是非、興味がある方は小生宛に連絡をいただきたい。これまでに、計画班 A03-1 藤森亮先生（放医研）および公募班 A03 中村麻子先生（茨城大学）、B01 阪上（沢野）朝子先生（理研）、さらに、国内外の研究者と計 5 件契約を結んでいる。すでに、昨年 9 月に外国人研究招聘した秦 恵先生 (Preview A & M University) とは、本装置を用いたサンプルを供与し、この 1 月には連携研究者の池田裕子を同研究室に海外派遣して、実験手技を習得し、解析をすすめている。

▶最後に

本装置の開発に当たっては、企画の段階で ISRN-2016-Nagasaki 「Scientific Dream Award」を受賞することができ、池田裕子の学位論文となり、さらに、宇宙生物科学会第 31 回大会で奨励賞を受賞することができた。A03-2 分担者の日出間純先生（東北大学）、A01-1 分担者（現在、公募班 A01 代表）の二川健先生（徳島大学）にアドバイスをいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

国外では、宇宙環境により近い疑似微小重力低線量率放射線照射システムの開発もすすめられている [3, 4]。ただし、疑似微小重力と 1G の試料間で、線量および照射時間を一致させることが難しい。現在、我々も総合班の支援のもと、京都大学放射線生物研究センターの低線量率照射施設を利用した装置開発に取り組んでいる。今後、月や火星での低重力と放射線の複合影響を調べるためには、国際宇宙ステーションでの遠心機付生物実験装置 CBEF の人口重力区を利用するか、実際に、月や火星で実験することが必要になってくるであろう。

引用文献

- 1) Ikeda H, et al. Biol Sci Space, 30:8-16, 2016.
- 2) Ikeda H, et al. Life Sci Space Res, 12:51-60, 2017.
- 3) Moreno-Villanueva M, et al. NPJ Microgravity, 3:14, 2017.
- 4) Pereda-Loth V, et al. Life Sci Space Res, 16:38-46, 2018.

メダカ骨芽細胞 / 破骨細胞の宇宙環境に対する初期応答

A01 公募研究班代表／茶谷昌宏（昭和大学 歯学部歯科薬理学講座）

▶ 紹介論文

Acute transcriptional up-regulation specific to osteoblasts/osteoclasts in medaka fish immediately after exposure to microgravity.

メダカ骨芽細胞 / 破骨細胞の微小重力環境に対する初期応答

Chatani M, Morimoto H, Takeyama K, Mantoku A, Tanigawa N, Kubota K, Suzuki H, Uchida S, Tanigaki F, Shirakawa M, Gusev O, Sychev V, Takano Y, Itoh T, Kudo A. Sci Rep. 2016 Dec 22;6:39545.

▶ 論文の内容

骨組織は骨形成と骨吸収を繰り返すことで恒常性を維持する。地球軌道上に存在する国際宇宙ステーションの中は微小重力環境であり、人がそこで生活すると骨量が減少することが報告されており、骨代謝の維持に重力が深く関わっていると考えられるが詳細なメカニズムはわかっていない。1970年代に実施されたスカイラブ計画では、宇宙飛行士の尿中カルシウム濃度が飛行後の数日間で上昇することを報告しており、微小重力環境に移行することで体内の細胞で様々な変化が生じていることを示唆する。

私たちは宇宙航空研究開発機構（JAXA）との共同研究で、4種類の骨関連遺伝子で改変したダブルトランスジェニックメダカ（*osterix-DsRed/TRAP-GFP*, *osteocalcin-DsRed/TRAP-GFP*, *MMP9-DsRed/RANKL-GFP* and *TRAP-DsRed/cox2-GFP*）を、孵化したばかりの状態ですべてのメダカを特殊なジェルの中に入れ、「きぼう」日本実験棟で8日間連続撮影を行った（図1）。初期の骨芽細胞は*osterix*、後期の骨芽細胞は*osteocalcin*、破骨細胞は*TRAP*、*MMP9*、破骨細胞誘導は*RANKL*、ストレス応答は*cox2*をマーカーとして調べた。方法として、宇宙ステーション内に設置された実体顕微鏡にメダカが入った容器をセットし、地上から遠隔操作で写真撮影を行い、メダカのXYZ位置座標を確認し、高倍率で観察した。チームに分かれて24時間の観察を8日間行った。その結果、骨を形成する骨芽細胞で特異的に発現する蛍光のシグナルが、微小重力環境に曝された1日後から大きく上昇し、8日間その発現上昇が維持された。また、骨を壊す細胞である破骨細胞で特異的に発現する蛍光のシグナルが、微小重力に曝された4日後と6日後で上昇が見られた。

また、遺伝子発現レベルの変化を調べるため、メダカ幼魚を用いて無重力環境に曝された2日後のRNAを回収し高速シーケンスを行って解析したところ、骨関連遺伝子の他に新たに5つの遺伝子、*c-fos*, *jun-B-like*, *pai-1*, *ddit4*, *tsc22d3*の大幅な発現上昇を明らかにした。

微小重力環境に対する生物個体の初期応答の一端をライブイメージングによる蛍光観察と遺伝子発現解析によって示した（図2）。



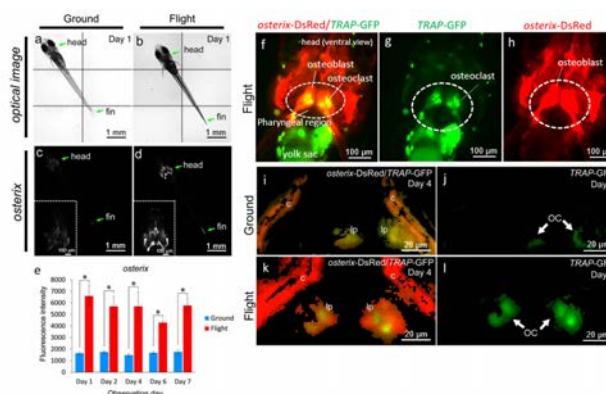
◀ 図 1

▶ 著者のコメント

この実験は東京工業大学工藤明教授が代表を務めた宇宙実験で2014年に実施されました。通常、ソユーズ宇宙船は打上げから国際宇宙ステーションにドッキングするまで約2日を要しますが、私達の実験で用いたプログレス宇宙船は打上げから約6時間でドッキングする“Fast Track System”という新しい軌道が用いられたため、微小重力環境に対する細胞の初期応答観察が実現しました（図3）。一度しかない打ち上げで研究の成果を出すことは容易なことではありませんでしたが貴重な経験をさせていただいたことに工藤先生をはじめ皆様に感謝しています。そして、宇宙に携わる方々との出会いは何にも代えがたい宝となりました。また皆さんと新たな挑戦を共にする日が訪れることを楽しみにしています。

▶ 論文キーワード

メダカ 骨 重力 国際宇宙ステーション

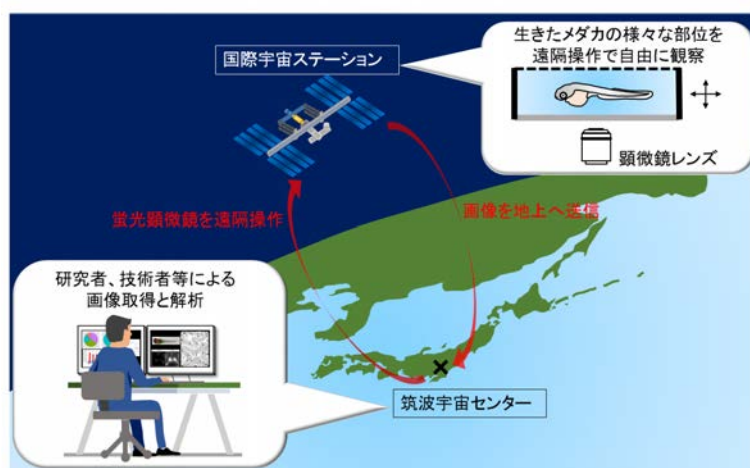


▲図2

(a-d) Whole-body imaging of the *osterix*-DsRed transgenic line. The left-side images show the same ground control at day 1; and the right-side images, the same flight medaka at day 1. Arrows point to the head and fin region. All images show ventral views. Scale bars=1mm. (a,b) Montage images were made from 6 captured optical images, divided by dotted lines. (c,d) The white region shows an *osterix*-DsRed fluorescent signal. Embedded views show the enlarged head region. (e) The fluorescent intensity from day 1 to day 7 of observation day constantly increased in the flight group. (f-h) The representative visualizing data for *osterix*-DsRed/TRAP-GFP in flight group. All images show ventral views in head region. (i-l) The merged images were captured by 3D views for *osterix*-DsRed and TRAP-GFP in the pharyngeal bone region of the double transgenic line. (i,k) The pharyngeal bone region in the ground control (i) and the flight (k) group at day 4. lp, lower pharyngeal bone; c, cleithrum. Scale bars=20μm. (j,l) Images for TRAP-GFP in the pharyngeal bone region of “i” and “k”, respectively. GFP signals identify osteoclasts (OC).

Chatani M, et al., *Sci Rep* 2016

微小重力環境下の生体イメージング方法の概要



◀図3

心臓が機能低下（心筋萎縮や硬化）する分子機構を解明

A01 公募研究班代表／富田 拓郎（沼賀拓郎）
（自然科学研究機構岡崎統合バイオサイエンスセンター）

▶ 研究の概要

心臓は、生体の栄養及び酸素需要に応じてその機能を亢進・抑制し、無駄のない血液循環を達成している。ひとたび血液需要が高まれば心臓のポンプ機能を亢進させ、多くの血液を全身に供給するため心臓は筋組織が増大し肥大する。一方で、血液需要が低下すれば、筋組織量も低下し心臓は萎縮する。宇宙空間においては、微小重力の影響により、血行動態が地上に比べて低下し、心臓の萎縮が起こることが知られている。

我々は、これまでに心臓に血行力学的負荷を与えたマウスモデルを使用することで、どのようなメカニズムが機械的ストレスにより活性化し、ストレス慢性化により引き起こされる心機能低下を伴う心臓の構造的変化（心臓リモデリング）が誘導されるのかを研究してきた。これまでの研究から、機械的ストレス負荷による心臓リモデリングには、異常なカルシウムシグナルと活性酸素種（ROS）の産生がクリティカルであることが明らかにされてきた。しかしながら、それら二つのシグナル経路がどのように相互作用あるいは集約し、心臓リモデリングが導かれるのかは明らかにされていなかった。我々は、心臓に多く発現する非選択的カチオンチャネル canonical transient receptor potential 3 (TRPC3) が ROS 産生酵素である NADPH oxidase 2 (Nox2) と密接に連携し、機械的ストレスに曝された心臓における ROS の過剰生成に重要な役割を果たすことを明らかにした。さらに、このメカニズムは機械的ストレスだけでなく、様々な環境ストレスによる心臓リモデリングを導く共通のメカニズムであることを明らかにした。

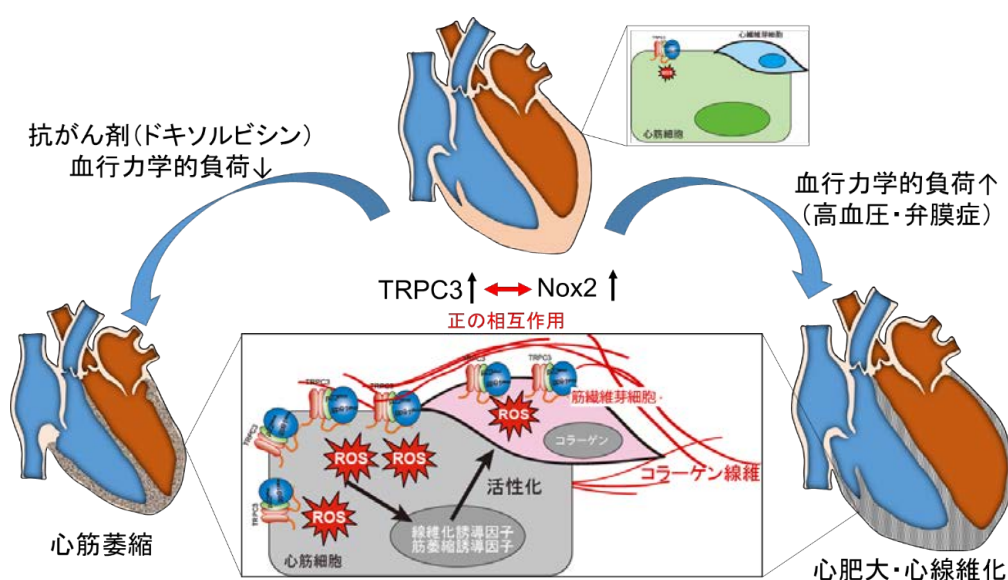
1. TRPC3-Nox2 機能連関による心臓の硬さ制御

組織の線維化は多くの疾患において機能不全を起こした終末期における病態として認識される。心臓においても、長期的な機械負荷刺激が間質の線維化を惹起することが知られている。本研究において、我々は、TRPC3 が Nox2 と安定複合体を形成し、機械的伸展誘発性の ROS 産生に寄与することを明らかにした。ラット単離心筋細胞において、TRPC3 阻害剤 Pyr3 および siRNA 処置は、機械伸展刺激に惹起される Nox2 の活性化を抑制した。TRPC3 は Nox2 と複合体を形成することにより Nox2 タンパク質を安定化させた。TRPC3 欠損マウスを用いた結果、大動脈狭窄による圧負荷で惹起される心肥大は全く抑制されなかったものの、心臓の酸化ストレスと線維化（硬化）がほぼ完全に抑制されていた。以上のことから TRPC3-Nox2 機能的連関は、機械的ストレスによる心臓の硬化（線維化）を誘導する重要な役割を果たしていることが示唆された。Kitajima et al., Scientific Reports 2016 6:37001, Numaga-Tomita et al., Scientific Reports 2016 6:39383

2. 抗がん剤による心萎縮における TRPC3-Nox2 機能連関の役割

ドキソルビシン（DOX）は様々な悪性腫瘍に有効な抗腫瘍薬である一方で、重篤な心毒性が副作用として問題視されている。これまでに DOX 誘発性の左心室拡張に Nox2 を介した ROS 生成の関与が示唆されているが、その詳細な

制御機構はわかっていなかった。TRPC3 欠損マウスまたは TRPC3-NOX2 複合体形成阻害ペプチド発現マウスに DOX を投与したところ、野生型マウスで観察される重篤な心機能低下と心重量低下が、ほぼ完全に抑制された。DOX 投与マウス心臓では TRPC3 と Nox2 の発現量が増加しており、Nox2 発現増加率と心重量低下が正に相関していた。DOX 投与マウス心臓では低酸素シグナルが活性化しており、低酸素ストレスが TRPC3-Nox2 複合体形成を促進している可能性が示された。以上の結果より TRPC3-Nox2 複合体阻害が DOX による心毒性軽減につながる新たな分子標的となることが強く示唆された。これまでに、運動の負荷が DOX の心毒性を軽減する効果があることが明らかにされていた。そこで、運動負荷による TRPC3-Nox2 の機能連関への影響および心臓における TRPC3-Nox2 機能連関の生理的な意義の解明を行った。その結果、運動負荷は心臓における TRPC3 及び Nox2 のタンパク質発現量を低下させることを明らかにした。また左心室における圧-容量曲線の解析から、運動負荷を与えられたマウスにおいて、心臓はより柔軟になり、容量負荷に伴う駆出力の上昇が亢進していることを明らかにした。この結果と一致して、TRPC3 の欠損マウスにおいても、左心室の柔軟性の向上および心機能の亢進が確認できた。以上の結果は、TRPC3-Nox2 の機能連関は、生理的条件下においては、筋原性に心臓の柔軟性制御に関わる重要な役割を果たしていることを強く示唆した。Shimauchi et al., JCI insight 2017 2:15



TRPC3-Nox2 連関による ROS の過剰産生と心臓リモデリング

「きぼう」における Multiple Artificial-gravity Research System (MARS) を利用した微小重力による骨組織変容の解明

A02 公募研究班代表／篠原 正浩（東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科）

▶ 研究の背景

原始の海で誕生した生命が、海を離れて地上で生活を営むために重力に抗い、身体を支持する組織として発達させた骨組織にとって、力学的荷重は恒常性維持に最も重要な要素です。骨組織は運動器の機能—身体の支持や運動—に不可欠であり、脳や内臓を保護する組織です。また骨には生命活動に必要なカルシウムなどを貯蔵して必要に応じて全身に動員する機能、骨髓における造血・免疫細胞の産生機能やホルモン等を産生して生体の恒常性を維持する内分泌機能も備え、生体の高次生命機能を調節しています。

その骨組織では、常に古い骨は破骨細胞によって壊され、新しい骨が骨芽細胞によって形成されています。この破壊と形成のバランスが保たれることにより正常な骨組織が維持されていますが、宇宙における微小重力環境、寝たきりや運動不足といった骨組織に力学的負荷がかからない環境ではバランスが破壊に傾き、骨量が低下して骨粗鬆症を発症します。特に宇宙の微小重力環境下における骨量低下は、地上における通常の骨粗鬆症と比較して約10倍の速度で骨量が減少することが報告されています。現在、国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士は1日2時間程度の有酸素運動や抵抗運動を行うことで骨量の減少を防止していますが、今後計画されている有人の月面探索や火星探索のプロジェクトでは長期間にわたるフライトであることや運動装置の制約などが問題となることから、宇宙飛行士の骨量低下の問題は解決しなければならない課題と言えます。

人類による宇宙飛行史が始まる前から微小重力の骨に対する影響が懸念されていたことから、NASAによるマーキュリープロジェクトをはじめとする有人宇宙飛行計画では宇宙飛行による骨への影響に関連する研究が行われてきました。また、ラットやマウスなど実験動物による宇宙飛行実験や地上におけるヒトの長期臥床実験や実験動物を用いた尾部懸垂実験などから、力学的負荷の骨代謝への影響について解析が行われてきました。いずれの実験においても骨組織に力学的負荷がかからない状況では骨量が低下しますが、対象となる生物種や実験期間、解析手法が異なるため報告によって異なる結果が得られているので、微小重力環境における骨量低下の原因がわからず、そのためにより良い骨量低下防止のための対策が取れない状況です。本研究では微小重力環境の骨代謝に対する影響を細胞レベル・分子レベルで解析し、骨量低下のメカニズムを明らかにすることで、宇宙における骨量低下を防止する方法を開発することを目的としています。

▶ 研究結果

2016年に国際宇宙ステーション・「きぼう」日本実験棟における35日間のマウス飼育実験が実施されました（宇宙航空研究開発機構 JAXA「きぼう」利用テーマ「マウスを用いた宇宙環境応答の網羅的評価」、研究代表 筑波大学生命科学動物資源センター 高橋智教授）。このプロジェクトでは、世界で初となる遠心機能を有する生物実験装置を用いて人工的に地上と同じ重力1Gを発生させ、微小重力環境で飼育したマウスと同時に飼育することで、マウスに対する純粋な重力影響の解析が可能になりました。この宇宙マウスの骨組織の解析を実施したところ、人工重力1G環境で飼育したマウスでは地上対照群と同程度の後肢大腿骨近位部の骨量を維持していたのに対して、微小重力環境で飼育したマウスでは劇的な骨量減少が認められました（参考文献および図）。海綿骨部分では海綿骨の数が顕著に減少する上、個々の海綿骨の骨幅も有意に低下していました。さらに皮質骨部分では皮質骨の厚みが減少し、断面積も低下していることも判明しました。

骨組織の病理学的解析からは、微小重力群のマウス骨組織では破骨細胞の数が増え、破骨細胞による骨破壊部位の増大が認

められました。血中の破骨細胞が産生する酒石酸耐性ホスファターゼ（TRAP）量を測定したところ、微小重力群で有意に増加していました。これらの結果は微小重力環境において破骨細胞が増加することを示唆しています。一方、骨芽細胞の数は減少し、血中の骨形成マーカーであるコラーゲン前駆体の代謝産物 P1NP や骨芽細胞が産生するオステオカルシンが微小重力群で有意に減少していました。つまり、微小重力環境における骨量低下は破骨細胞による骨破壊の促進と骨芽細胞による骨形成の抑制の両方が起きていると考えられます。網羅的な遺伝子発現解析を行ったところ、骨組織における破骨細胞が産生する TRAP やカテプシン K（CtsK）、マトリクスメタロプロテアーゼ 9（MMP9）といった遺伝子の発現が亢進している一方で、骨芽細胞が産生するオステオカルシンやⅠ型コラーゲンなどの発現が低下していることが明らかとなり、細胞レベルでの現象が遺伝子レベルでも確認することができました。

▶ おわりに

これまでの宇宙実験から判明してきた骨量低下の原因は破骨細胞の数が増えることによる骨破壊の促進と骨芽細胞の数が減少することによる骨形成の抑制によるものであることが明らかとなってきました。網羅的な遺伝子発現解析では、これまでに判明している骨破壊および骨形成関連遺伝子の発現が変動していることも判明しました。現在、微小重力環境で発現が変動する遺伝子のうちこれまでに骨代謝における機能が報告されていない遺伝子の機能解析を行っています。いくつかの遺伝子が骨代謝を制御する可能性があることも明らかになりつつあります。今後は、これらの新規骨代謝制御因子の解析を中心として、微小重力環境における骨破壊促進、骨形成抑制のメカニズムを分子レベルで追求していきたいと思えます。

参考文献

Shiba D, et al., Development of new experimental platform ‘MARS’—Multiple Artificial-gravity Research System—to elucidate the impacts of micro/partial gravity on mice. Sci Rep, 7, 10837, 2017

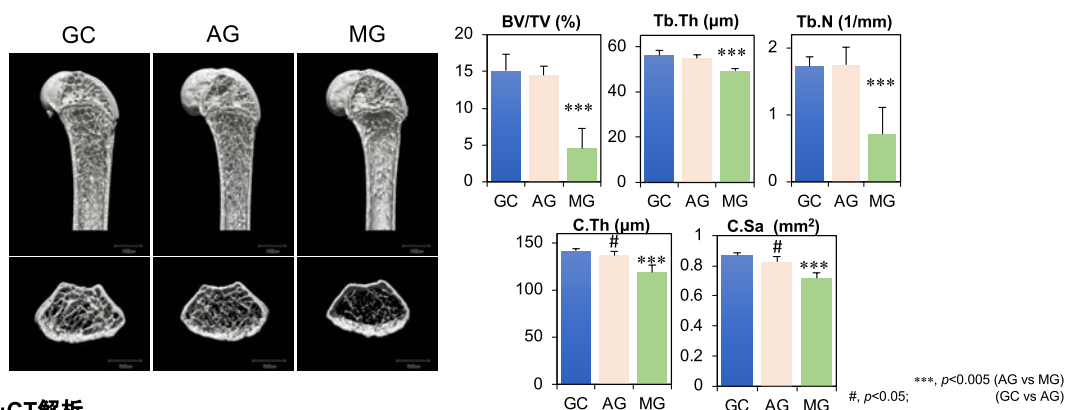


図 μCT解析

大腿骨・海綿骨部位の骨量BV/TVは地上対照群（GC）や人工重力1G群（AG）と比較して微小重力MG群（MG）で劇的に減少していることが判明。骨量減少の要因としては海綿骨幅Tb.Thおよび海綿骨数Tb.Nの減少による。皮質骨幅C.Thや皮質骨断面積C.Saは、AG群で若干減少、MG群では劇的に減少していることが判明した。

放射線から DNA を守るクマムシ固有のタンパク質の発見

B01 公募研究班代表／國枝 武和（東京大学 大学院理学系研究科）

▶ 研究の概要

クマムシという動物をご存知でしょうか？体長数百マイクロンのとても小さい生き物ですが、様々な極限環境に対して驚くべき耐性を示し、放射線に対してもヒトの半数致死量の千倍の照射に耐えることができます。宇宙空間に直接曝露されても生還できた初めての動物でもあります。私達の研究目的は、こうした耐性がどのようにして可能になっているかを解明することで、様々なクマムシのゲノム情報を駆使しながらこの謎を解き明かそうとしています。最近、高い放射線耐性を持つヨコヅナクマムシからクマムシ固有の新規な DNA 結合タンパク質を同定し、このタンパク質をヒト培養細胞に導入すると、放射線による DNA 傷害が半減し、致死線量の X 線照射後も一部の細胞が増殖能を保持できるようになることがわかりましたので、以下に紹介させていただきます。

▶ クマムシとは？

最初にクマムシのことを簡単に紹介いたします。クマムシは、ほとんどの種が体長 1 mm に届かない顕微鏡サイズの生き物で、4 対の脚でゆっくりと歩きます。分類学上、昆虫やカニなどと比較的近縁な独自の「緩歩動物門」を構成し、これまでに約 1200 種が記載されています。南極や高山、深海からも発見されていますが、道端のコケなど身近な環境からも見つけることができます。基本的に水中生活を営み、陸生種も土壌の間隙水や苔の上にたまった水膜の中などで生息していますが、乾燥により周囲の水が蒸発すると、ほぼ完全に脱水して生命活動を一時的に停止した「乾眠」と呼ばれる状態に移行します（図 1）。乾眠状態のクマムシは、様々な極限環境に耐性を示し、超低温（ほぼ絶対零度）や高温（約 100 度）、真空、超高压（75,000 気圧＝水深 750 km の水压に相当。世界最深のマリアナ海溝の水深は約 10 km なので、その 75 倍）に曝露した後も、給水することで生命活動を再開できます。クマムシは動物として抜群の環境ストレス耐性能をもちますが、そのメカニズムはほとんどわかっていませんでした。

▶ クマムシ固有のタンパク質によるヒト培養細胞の放射線耐性の向上

クマムシの極限環境耐性のほとんどは乾燥状態でのみ観察されますが、放射線に対してだけは水和した通常の状態でも乾燥状態と同程度の高い耐性を示します。通常、高線量の放射線は DNA を切断し生体に深刻なダメージを与えることから、クマムシにはこれらのダメージを軽減する特殊な機構があると考えられました。そうした機構に関わる候補分子としてクマムシの DNA に結合しているタンパク質を探索した結果、Damage suppressor (Dsup) と名付けたクマムシ固有のタンパク質を見出しました¹。ヒト培養細胞に Dsup 遺伝子を導入したところ、X 線照射による DNA の切断が通常細胞の約半分に抑制されることわかりました。放射線は DNA に直接損傷を与える作用のほか、生体内の水分子に作用して活性酸素種を発生させることで DNA 切断を引き起こす「間接作用」が知られています。そこで、活性酸素種の一つである過酸化水素による DNA への影響を解析したところ、やはり Dsup 発現細胞で DNA の切断量が著しく減少することがわかりました。Dsup は X 線照射によって生じる活性酸素種から DNA を保護していると考えられます。さらに、Dsup を導入した細胞は致死線量の X 線を照射した後も一部が生存し増殖することがわかりました（図 2）^{1,2}。

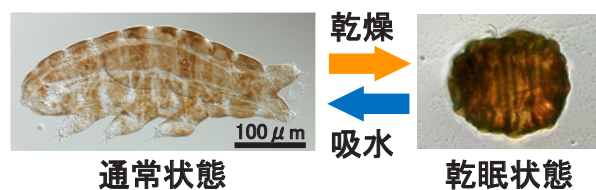
以上の結果は、クマムシ固有の遺伝子が耐性能力に重要な役割を果たしていることを示唆すると同時に、その遺伝子の導入によって他の生物の耐性能力を向上できることを明らかにしました。

▶ 魅力的な耐性遺伝子資源としてのクマムシ

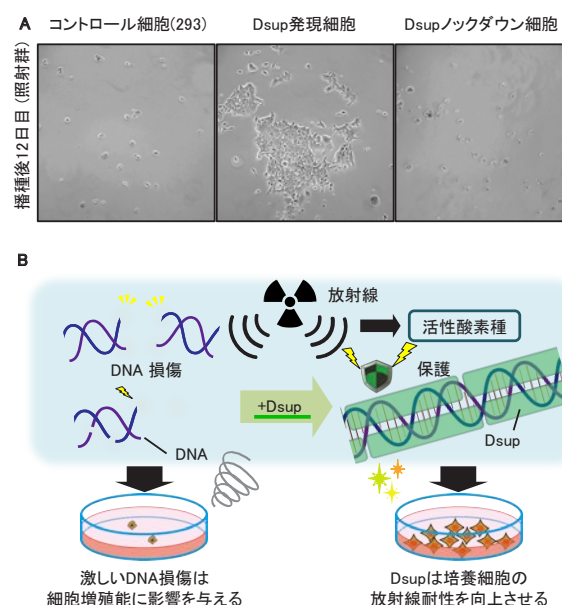
近年解読されたヨコヅナクマムシの高精度ゲノム配列には Dsup 以外にもクマムシ固有の新規遺伝子がまだまだ沢山コードされており、しかもその一部は非常に高い発現を示しています。最近の配列決定技術の進展にともなって、さまざまなクマムシ種のゲノムが解読されつつあり³、耐性の高い種と無い種の比較解析などから耐性遺伝子の候補の絞り込みも進んでいます。これら耐性遺伝子の機能についても、RNAi を用いた機能阻害実験や、他の生物にクマムシの遺伝子を導入する機能獲得型解析により進んでいくことが期待されます。クマムシが長い進化の過程で獲得した耐性遺伝子の情報を利用することで、将来的には様々な生物の宇宙への進出を後押しすることにつながられるかもしれません。

引用文献

1. Hashimoto et al., (2016) Nat Commun 7, 12808.
2. Hashimoto et al., (2017) Life 7, E26.
3. Yoshida et al., (2017) PLOS Biol 15, e2002266



▲図1 ヨコヅナクマムシの乾眠能力
高い耐性能力を持つヨコヅナクマムシ（札幌市街地より採取）。
ほぼ完全な脱水にも、ヒトの半数致死量の千倍の放射線照射にも耐える。



▲図2 Dsupによるヒト培養細胞の放射線耐性の向上
(A) 播種後1日目にX線(4 Gy)を照射。培養12日目の細胞の位相差顕微鏡像。Dsup発現細胞でのみ、生細胞様の形態が観察される。
(B) DsupによるDNA保護の模式図。

▶ 新領域研究「宇宙に生きる」国際シンポジウム
「International Symposium on LIVING IN SPACE 2017」

●総括班／嶋津 徹 一般財団法人 日本宇宙フォーラム

2017年3月9日、東京・千代田区の一橋講堂において一般公開の国際シンポジウム「International Symposium on LIVING IN SPACE 2017」を開催いたしました。総数 178 名の参加者（一般参加者：41 名、領域関係者：137 名）の内、国外からの参加者 19 名（留学生等を含む）が参加され、盛況に開催することができました。

全ての講演と質疑は英語で行われ、下記の演題による最新の研究紹介の後には、参加者との活発な質疑応答が行われました。

本領域のアドバイザーを務めている向井千秋博士（宇宙飛行士、東京理科大学副学長）に開会のご挨拶を頂き、シンポジウムを開始しました。海外からの招待講演としてドイツ宇宙庁の Dr. Ralf Möller、招待講演して岐阜医療科学大学の間野学長、特別講演として筑波大学の斎藤教授の講演など、その他には若手研究者、国際支援活動の報告なども行われました。



- 1) 古川領域代表：Integral Understanding of Life-regulation Mechanism from Space Point of View
- 2) 瀬原計画班代表 (A01-3)：What Zebrafish Experienced in a Space Tour
- 3) 茶谷・国枝公募班代表、Young Researcher's newly published reports
- 4) 安部分担研究者 (A02-2)、中村公募班代表：International Collaboration for young researchers
- 5) 招待講演 1：Dr. Ralf Möller (DLR)：“Think small to be big”: addressing the relevance of studying microbial response to spaceflight conditions
- ドイツ宇宙庁の Dr. Ralf Möller は微生物・放射線研究の専門家、A03-1 根井班とも共同研究を実施されています。
- 6) 招待講演 2：間野忠明博士（岐阜医療技術大学学長）：From Neurolab Experiments to "Living in Space"
間野学長は 1992 年に実施された NeuroLab 実験の代表研究者を務められました。
- 7) Dr. Michael Lazarus 公募班代表：The link between REM sleep loss and the desire for sugary and fatty foods
- 8) 特別講演：斎藤環分担研究者 (A02-4)
- 9) 那須代表 (A03-3)：Microbes in a confined environment



招待講演の Dr. Ralf Möller



会場からの質問状況

▶ 「2017 年度第 1 回全体会議 in 仙台秋保」

A03-2 研究分担者

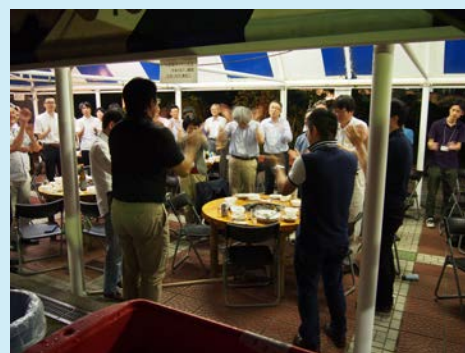
日出間 純

東北大学大学院生命科学研究科

早いもので新学術領域研究「宇宙に生きる」も3年目に突入。公募研究班の皆様も加わってから1年が経過し、ようやく計画研究班と公募研究班、そして公募研究班同士での様々な共同研究もスタート。ようやく「新学術領域研究らしさ」が出てきた時期かと思います。そこで、さらに班員の皆さんの結束力を高め、新たな研究展開、そして新たな共同研究を通した新領域の開拓を目指し、今年度第1回目の全体会議は、気分を変えて、宮城県仙台駅よりバスで30分程の場所に位置する秋保温泉街「秋保リゾートホテルクレセント」にて、7月17～19日の日程で2泊3日の合宿形式で開催いたしました。

本会議には全ての班の代表者は勿論、分担者、大学院生を含む連携研究者の計86名が参加いたしました。そして今回の会議では、公募研究班の成果報告発表を1班あたり20分とし、公募研究班の研究成果、今後の展開に重点をおいたプログラム設定にしました。また、初日には、A02 長瀬班の研究分担者である柳沢正史先生（筑波大学）に新規睡眠覚醒制御タンパク質「Sleepy」に関する特別講演、夕食後には「宇宙に生きる・若手の会」主催の講演会を開催、翌日の夕方には屋外でバーベキューをしながらの技術交流会を開催し、夜遅くまでホテルの会場、特別室、各部屋にて交流を深めつつ、終始熱い議論を交わすことが出来ました。

本領域もちょうど半分の2年半が過ぎ、後半に入りましたが、この会議では、各研究班の新たな、そして興味深い研究成果は勿論、今後大いに期待される共同研究による研究展開と成果を十分に感じ取ることが出来ました。本会議を機に、今後より一層班員の研究が展開し、新学術領域研究「宇宙に生きる」から生まれる新たな学術領域が開拓できることを期待すると同時に、努力していきたいと強く思う次第です



▶ 「宇宙に生きる」若手会国際交流パネルディスカッション

A02-3 研究分担者

大井 雄一、笹原 信一郎

筑波大学 医学医療系（「宇宙に生きる」若手会幹事）

日時 2017年7月17日

場所 秋保リゾートホテルクレセント

主催 「宇宙に生きる」若手会

三年目を迎えた新学術領域研究「宇宙に生きる」。その若手研究者を中心に構成された「若手会」で、ドイツからの海外研究者交流招聘によるFelix Matthias Fuchs氏と国際交流パネルディスカッションを実施しました。

Felix Matthias Fuchs氏は、A03 藤森班と国際共同研究を推進しており、German Aerospace center (DLR: ドイツ語略称) のDr. Ralf Moeller氏の研究グループでグラム陽性桿菌であるBacillus subtilisをモデル微生物としてバイオフィーム形成における微小重力と放射線の影響を研究されています。

現在、Ph-D Studentとして学位論文に向けて研究成果をまとめているなかで、若手研究者のみならず全領域の研究者とのディスカッションも含めて国際交流パネルディスカッションとなりました。



オープニングトークで講演されるFelix氏



自由闊達にやりとりするファーストパネリストの安部、河野、村谷の各氏



パネリストは事前に若手会のなかで公募した上で、当日までに厳正な選考のうえで、ファーストパネリストとして、安部力氏、河野史倫氏、村谷匡史氏がつとめてくださいました。パネルディスカッションは、最初にFelix氏からこれまでのBacillus subtilisをモデル微生物としたバイオフィーム形成の宇宙医学における重要な位置付けについて概要を説明してもらい、その上で国際共同研究にて取り組まれているバイオフィーム形成に対する微小重力と放射線の影響について現在までに明らかになってきた実験結果を中心に最新のデータと写真と動画とイラストを駆使されて大変わかりやすく講演頂きました。

これを受けて、安部、河野、村谷の各氏からそれぞれの専門は全く違う立場ながら、この新学術領域「宇宙に生きる」を通じてしか得られないこの機会に、自由に質疑応答ならびにコメントを頂きました。このパネリストとのやりとりから、Felix氏の講演を聞いていて疑問に思ったことはもちろん、全く自分では気づかなかった視点も得られた参加者が多かったことを実感しました。今回若手会ならではの企画として、パネリストの一席をフリーで空けておき、ここにパネルディスカッションの刺激に触発されて、自分もパネリストとして参加してみようと自主的に参加して下さったセカンドパネリストが、道喜将太郎氏、高橋賢氏と順番に登壇してくださいました。さらに最後は二川健先生も加わってください、パネルディスカッションをまとめてくださいました。おかげさまでFelix氏からも、大変勉強になりかつ多くの人と研究のアイデアや刺激を共有するととても有意義な時間を持って大変良かったとのコメントをいただきました。これを機会にさらなる国際交流が広がればと考えています。



触発されてセカンドパネリストとして登壇くださった道喜、高橋、二川先生の各氏

▶ 宇宙に生きる」若手会夏合宿 第二回「宇宙で学ぶ」

A02 公募研究班
研究代表者

河野 史倫 松本大学

平成 29 年 8 月 22 日～ 23 日の 2 日間、松本大学ならびに美ヶ原温泉ホテル翔峰（長野県松本市）にて「宇宙に生きる」若手会の夏合宿を開催しました。今年のテーマは『宇宙で学ぶ』。宇宙研究のこれまでを知り、自身の専門分野以外の研究も知ること、宇宙に生きる研究者としての課題意識を深めることを目標としました。各研究班から 34 名の若手研究者が集まりました。幅広い専門分野からの参加であり、本夏合宿のテーマを達成するのに十分なメンバーが集まったと思います。

夏合宿は、「宇宙に生きる」領域代表・古川聡先生のビデオレターによる激励からスタートしました。「つながりが大切」というコメントに若手参加者全員が感激し、一気に雰囲気は温まったような印象を受けました。最初のセッションは、「宇宙に生きるために～どこまで解決できたのか？」と題し、各研究分野でのこれまでの研究、そして現在取り組まれている研究を大学院生を含む若手メンバーにレビューを行ってもらいました。「細胞」「水棲生物」「植物」「運動器」「循環器」「精神」「放射線」の 7 つのテーマについて、発表ならびに議論を行いました。各分野における研究の視点や、宇宙実験の概要と技術的な要求など、宇宙研究を進めていく中で得られた経験を学びました。専門分野が異なると非常に基礎的なことでも新しい情報として理解でき、自身の研究に活かしていくためにはどのような工夫が必要なのかを考える良い機会になりました。また、班代表自ら「植物」に関するレビューを行っていただいた古市卓也先生（名古屋経済大学）には心より感謝申し上げます。



ここからは美ヶ原温泉ホテル翔峰へバス移動し、夏合宿の中核を成す!? 交流会企画

を実施しました。美ヶ原温泉は標高 800 m の山麓に位置し、松本市街地からも程近い場所にあります。松本平全体を見下ろすロケーションと、真夏でありながらもひんやりとした山の雰囲気にもまれていました。参加者全員で夕食をいただきながら各班の近況などフランクに交流を深めた後、昨年の第一回夏合宿に引き続き夜のイベント「宇宙を語る」を実施しました。宇宙研究に関する様々な情報を皆で共有することをねらい、予め準備した題材をランダムに選び議論するというものでした。宇宙実験に実際に携わった若手の話は非常にエキサイティングでした。若手間の意外なつながりが発見できたのも収穫でした。



翌日（23 日）の朝は、清水強先生（諏訪マタニティクリニック）をお招きし、「宇宙実験の裏側を聴く」と称してスペースシャトル時代から数々の宇宙実験で PI をなさった経験談をご講演いただきました。宇宙実験に至るまでのステップや地上での準備の苦労、当時のラボの様子や感じていたことなど貴重な体験を拝聴できました。大学卒業後に研究の道に入りアメリカへ留学、そして宇宙研究との出会いとご自身の専門分野の確立など、現在の宇宙研究のパイオニアとも言える壮大な経緯を聞き、自分もこのように宇宙研究分野で自分の専門を切り開いていきたいという目標を再確認しました。清水先生が留学した時代はまさにアポロ計画の最中であり、アポロの宇宙飛行士の食事に関する研究に携わられたというお話には感銘を受けました。参加した若手研究者にとって、大きなモチベーションの向上につながったのではないのでしょうか。

続いて、夏合宿最後の企画「領域を跨いだ研究交流会」を行いました。専門分野の異なる 6～7 名の参加者が 4 つのグループに分かれ、各自の研究紹介を行った後ディスカッションするという交流会でした。専門分野の異なる人に専門的な内容を伝えることは難しいことです。この宇宙という研究分野を鑑みると、宇宙環境は非常に複合的で特殊な環境であり、他の分野とつながり様々な問題や実情を知っておくことが重要だと思います。我々「宇宙に生きる」若手研究者は、このような集まりを機会にお互いを知り、分野の相乗的な発展につなげていけたらと感じました。私も各グループを回りながら話を聞かせていただきましたが、自分のラボの学生が基礎的なことを質問され困っている姿を見て、ラボ内ではなかなか教えることができないこともあるなど気付かされました。総括班の高橋昭久先生（群馬大学）にも駆けつけていただき、貴重なコメントもいただくことができました。

第二回の若手会夏合宿を担当させていただき、宇宙研究における分野の広さと横繋がり的重要性をあらためて感じました。今回の夏合宿をきっかけに、研究交流やつながりが多く生まれたことを期待するとともに、私自身も「宇宙に生きる」という難しい課題の解決にもっともっと取り組みたいという気持ちを再確認しました。



H29 国際活動支援 招聘実績 派遣実績

H29 国際活動支援 招聘実績

No.	研究班	区分	名前	所属	タイトル	行先	期間
1	A03-1 (根井班)	若手	加藤 宝光	コロラド州立大学 環境放射線保健科学学部	准教授	放射線医学総合研究所 放射線障害治療研究部 粒子線基礎医学研究チーム	H29.5/20-6-22
2	A03-1 (根井班)	若手	Bugiewicz Dylan John	Colorado State University Department of Environmental & Radiological Health Sciences	Master Student 1st year	放射線医学総合研究所 放射線障害治療研究部 粒子線基礎医学研究チーム	H29.5/20-6-22
3	公募班 B01 (Michael Lazarus)	若手	Xu, Qi	Department of Physiology, Anhui Medical University	Lecturer	筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構	H29.6/1-8/31
4	A03-1 (根井班)	若手	Fuchs Felix Matthias	Georg August University Goettingen	Ph.D Candidate	放射線医学総合研究所 放射線障害治療研究部 粒子線基礎医学研究チーム	H29.7/2-7/21
5	A03-2 (高橋班)	研究者	Hada Megumi	Chancellor's Research Initiative (CRI) Radiation Institute for Science & Engineering (RISE), Prairie View A&M University	Senior Research Scientist	群馬大学・重粒子線医学研究センター	H29.9/18-9/25
6	A03-1 (根井班)	若手	Qiang Liu	Department of Radiation Hazard Evaluation, Institute of Radiation Medicine of Chinese Academy of Medical Science & Peking Union Medical College	Director of the Department of Radiation Hazard Evaluation, Professor of radiation medicine & cytogenetics, MD, PhD.	放射線医学総合研究所 放射線影響研究部 食習慣影響研究チーム	H29.10.23-30
7	A03-3 (那須班)	研究者	LASSEUR Christophe	Directorate of technology, engineering and quality Address, ESA, ESTEC	Coordinator of Life Support R&D	大阪大谷大学	H29.11.13-21
8	A03-1 (根井班) A03-3 (那須班)	若手	Beblo-Vranesovic Kristina	German Aerospace Center (DLR e.V.) Institute of Aerospace Medicine, Radiation Biology Department, Space Microbiology Research Group	Staff of the Radiation Biology Group	大阪大谷大学	H29.11.13-21
9	A03-3 (那須班)	若手	Moeller Ralf	German Aerospace Center (DLR e.V.) Institute of Aerospace Medicine, Radiation Biology Department, Space Microbiology Research Group	Team Leader of the Space Microbiology Research Group	大阪大谷大学	H29.11.13-21
10	A03-1 (根井班) A03-3 (那須班)	若手	Leuko Stefan	German Aerospace Center (DLR e.V.) Institute of Aerospace Medicine, Radiation Biology Department, Space Microbiology Research Group	Staff of the Radiation Biology Group	大阪大谷大学	H29.11.13-21
11	A03-3 (那須班)	研究者	Venkateswaran Kasthuri	Biomedical Research and Environmental Science NASA-JPL	Senior Research Scientist	大阪大谷大学	H29.11.13-21
12	A03 (原田班)	研究者	Hammond Ester	Department of Oncology, University of Oxford	Associate Professor	京都大学放射線生物研究センター	H29.12.1-7
13	A03-1 (根井班)	若手	加藤 宝光	コロラド州立大学 環境放射線保健科学学部	准教授	放射線医学総合研究所 放射線障害治療研究部 粒子線基礎医学研究チーム	H29.12.15-28
14	A03-1 (根井班)	若手	Cathy Su	Colorado State University Department of Environmental & Radiological Health Sciences	Research Associate	放射線医学総合研究所 放射線障害治療研究部 粒子線基礎医学研究チーム	H29.12.15-14
15	A03-1 (根井班)	若手	Djouai Bahar	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) German Aerospace Center Institute of Aerospace Medicine, Radiation Biology Department, Space Microbiology Research Group	Candidate for Ph.D. Master student (B. Sc.)	放射線医学総合研究所 放射線障害治療研究部 粒子線基礎医学研究チーム	H30.1.24-2.2
16	A01-3 (瀬原班)	研究者	Ricchetti Miria	Team Stability of Nuclear and Mitochondrial DNA, Stem Cells and Development Institut Pasteur	Research Director, Team leader	京都大学 ウィルス・再生医科学研究所 再生増殖制御学分野	H30.2.14-4.7

H29 国際活動支援 派遣実績

No.	研究班 No.	区分	名前	所属	タイトル	行先	期間
1	A03-3 (那須班)	代表幹	山崎 丘	帝京大学 医療共通教育研究センター	講師	NASA Johnson Space Center	H29.3/27-4/2
2	A02-3 (松崎班)	若手	世原 信一郎	国立大学法人筑波大学 医学医療系	准教授	The Swedish University of Agricultural Sciences	H29.4/19-4/25
3	A02-3 (松崎班)	若手	平井 康仁	国立大学法人筑波大学 医学医療系	助教	The Swedish University of Agricultural Sciences	H29.4/19-4/25
4	A02-3 (松崎班)	若手	Andrea Christina Sylvia	国立大学法人筑波大学大学院 人間総合科学研究科	博士課程 1 年	The Swedish University of Agricultural Sciences	H29.4/19-4/25
5	A01-3 (瀬原班)	若手	荒井 宏行	京都大学 ウィルス・生成医科学研究所 再生増殖制御学分野	教務補佐員	① Harverd University Biolabs 4007 ② JN Biosciences LLC	H29.6/13-7/1
6	A01-3 (瀬原班)	研究者	瀬原 淳子	京都大学 ウィルス・生成医科学研究所	教授	① University Zurich, Switzerland ② Institut Pasteur, France	H29.8/14-8/25
7	A01-3 (瀬原班)	若手	田淵 麻衣	京都大学 ウィルス・生成医科学研究所	京都大学大学院 生命科学研究所修士課程 2 年	Fred Hutchinson Cancer Research Center, Seattle,	H29.11/20-12/10
8	A03-2 (高橋班)	若手	池田 裕子	群馬大学 未来先端研究機構 海外ラボラトリー (Dr. Held ラボ)	研究員	① Prairie View A&M University, ② NASA Johnson Space Center ③ 2018 NASA Human Research Program Investigator's Workshop,	H30.1.15-31
9	A01-1 (成瀬班)	若手	森松 賢順	岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 システム生理学	助教	① University of Illinois at Chicago ② Woods Hole Oceanographic Institution ③ Stanford University, Biophysical Society	H30.2/10-2/24
10	A01-2 (成瀬班)	若手	藤田 彩乃	岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 システム生理学	大学院生 /3 年	① University of Illinois at Chicago ② Woods Hole Oceanographic Institution ③ Stanford University, Biophysical Society	H30.2/10-2/24

▶ (A03-1) 低フルエンス粒子放射線の動物個体への影響と生体の適応に関する多面的解析

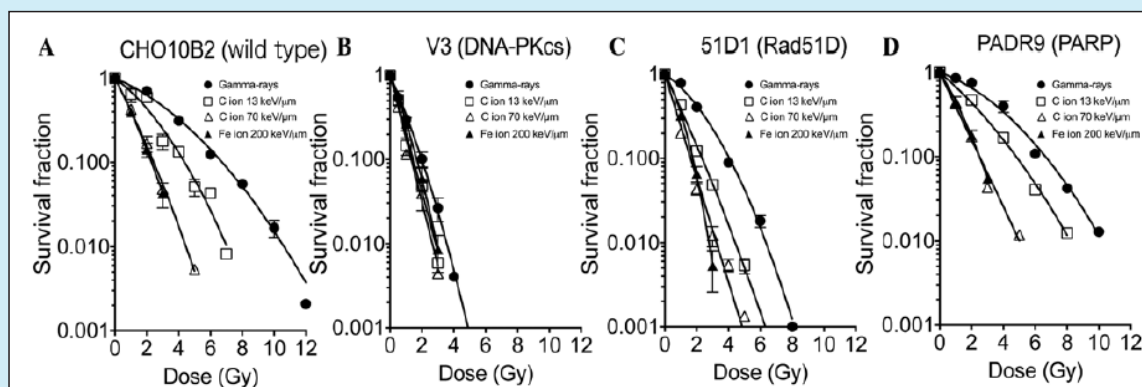
招聘期間:平成28年12月17日 ~ 平成29年1月4日

●研究分担者 / 藤森 亮 国立研究開発法人量研機構放医研

招 聘 者 : 加藤宝光 米国コロラド州立大学 准教授

平成28年12月17日~平成29年1月4日、米国コロラド州立大学の加藤宝光助教を我々の研究室に招聘し、重粒子加速器 (HIMAC) を用いた共同研究を実施した。

チャイニーズハムスター卵巣由来の細胞株 CHO はシャーレの上で培養すると1個の細胞が肉眼で見える大きさのコロニーに成長する。これを数えることにより薬剤や放射線に対する哺乳動物の細胞の生存率が求められる。CHO から派生した3つのDNA修復欠損変異株、V3, 51D1, PADR9 はそれぞれ DNA-PKcs, Rad51, PARP1 の活性を欠如し、特に DNA-PKcs は非相同組み換え末端結合修復、Rad51 は相同組み換え修復にかかわり、これらの欠損株はガンマ線、X線の両者に対して低い生存率 (つまり、感受性が大) となる。今回は、高エネルギー重粒子線の生物影響を研究するために、治療で局所的に使用されている炭素イオン線、宇宙で全身被曝のリスクが懸念される高エネルギー粒子線の例に鉄イオン線を上記 DNA 修復欠損株に照射し、結果の違いからどの修復系が重粒子線に重要か調べた (下図)。野生株 CHO10B2 はガンマ線に比べて重粒子線 (炭素、鉄) に 1.5-3 倍の感受性を示した。V3 細胞はガンマ線にもっとも感受性であるが、重粒子線への感受性はせいぜい 1.5 倍程度であった。51D1 細胞のガンマ線感受性は親株と V3 の中間程度であったのに対し、重粒子線には最大 2.5 倍の大きな感受性を示した。また、PADR9 細胞のガンマ線感受性は野生株とほぼ同程度で、重粒子線に対する感受性の増加も野生株に比較すると小さかった。これらの結果から、非相同組み換え末端結合修復はガンマ線と重粒子線のいずれにも重要である。相同組み換え修復は依然ガンマ線に重要であるが、重粒子線の DNA 損傷修復にはとくに重要である。一方 PARP はガンマ線、重粒子線の両方でそれほど重要ではない可能性が推察された。今年、本研究の成果をまとめた論文が発表された (Sunada et al. Oncology Letters 13: 4911-4916, 2017)



▶ (A03-2) 様々な線質、線量率の宇宙放射線の急性影響

招聘期間:平成29年9月18日 ~ 平成29年9月25日

●研究代表者 / 高橋 昭久 群馬大学重粒子線医学推進機構

招 聘 者 : Megumi Hada 氏 (Senior Research Scientist / Preview A & M University)

A03-2 班は、宇宙空間に特徴的な放射線と微小重力の複合影響を明らかにすることを目的に、3D クリノスタットによる同期照射装置を開発し、遺伝子発現解析などをすすめている。複合影響を調べる上で、検出感度の高い指標が求められてきた。そこで注目したのが、今回の海外招聘者の Hada 氏が最も得意とする染色体異常解析技術である。

Hada 氏は、2004-2016 年まで NASA (Johnson Space Center) に在籍しており、染色体異常解析技術を駆使して、宇宙飛行士の宇宙放射線被ばくのリスク評価に従事されてきた。宇宙飛行士毎にバックグラウンドが異なること、宇宙飛行期間に依存して染色体異常率が高まるものの、物理的な線量測定結果から推定される染色体異常率と必ずしも一致しないことを見出してきた。最近も、NASA からの研究支援により、宇宙放射線に含まれる様々な放射線種の線量率を変えて混合照射したときの染色体異常を解析して、計算モデルで理解することを目指している。物理線量以外の影響として、微小重力との複合影響が有るか無いかについて興味をもっておられ、両者の思惑が一致して今回共同研究することとした(共同契約の締結済み)。



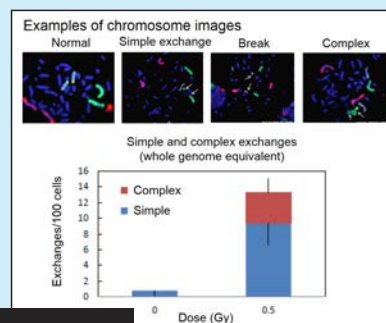
講演の様子

9月19日に、我々のラボで Hada 氏のこれまでの研究内容について2時間近く講演いただき、その後も昼食をはさみ数時間におよぶ討論を行った。9月20日には実際の3Dクリノスタットによる同期照射装置および重粒子線照射装置を見学いただきながら、実際の染色体異常サンプルの作製方法を指導いただいた。さらに、9月21日~22日は、小生が大会長を務めた日本宇宙生物科学会第31回学術大会で Chromosome aberrations induced by acute and chronic dose rate GCR simulated exposure というタイトルでご講演いただいた(写真1)。本学術大会は新学術「宇宙に生きる」との共催で、班員の先生方も多く参加されており、熱い議論と深い交流をすることができた(写真2)。また、9月25日に、放医研での He 線と炭素線の混合照射による染色体異常解析実験の打合せを行った。

今回、練習で作製したサンプルをお渡ししたところ、帰国後すぐに解析結果を送付いただき、バックグラウンドが少なく、放射線応答性も良いことが明らかになり(写真3)、本共同研究の発展が大いに期待できた。Hada 氏は日米における宇宙放射線研究の掛け橋としてのキーパーソンであり、今後、若手研究者の海外進出においても大いに力になっていただけるものと考えます。



情報交換会で班員らと交流



染色体異常解析結果

▶ (A03-3) 閉鎖環境における微生物の変遷

招聘期間:平成29年11月13日 ～ 平成29年11月21日

●研究代表者／那須 正夫 大阪大谷大学

平成29年度に、海外の微生物研究動向に関する情報交換と共同研究立上げのため、以下の外国人研究者を招聘した。

招聘者: Dr. Kasthuri Venkateswaran (NASA Jet Propellant Laboratory)、Dr. Christophe Laseeur (ヨーロッパ宇宙機関 ESA ESTEC)、Dr. Ralf Moeller (ドイツ宇宙庁 DLR)、Dr. Stefan Leuko (ドイツ宇宙庁 DLR)、Dr. Kristina Beblo-Vranesevic (ドイツ宇宙庁 DLR)

A03-01 根井班と共同で招聘: Dr. Ralf Moeller、Dr. Stefan Leuko、Dr. Kristina Beblo-Vranesevic (ドイツ宇宙庁 DLR)

招聘場所: 大阪大谷大学あべのハルカスサテライトキャンパス (大阪市)

主な参加者: 那須代表、Dr. David Smith (NASA Ames Research Center) (NASA が費用負担)、那須班研究分担者 (杉田、谷、内井、見坂、一條、山崎、嶋津)、公募班 (白井班、浅岡)、石岡専任教授 (JAXA)、藤森亮 (根井班、分担研究者)、大森名誉教授 (東京大学・中央大学)

11月15日 (プレミーティング)

那須代表と海外からの招聘研究者を中心に、アジェンダの最終確認とミニレビューの執筆内容と執筆担当を議論した。

11月16日

Microbiology for space habitation を主題として、那須代表、一條分担研究者、杉田分担研究者から「宇宙に生きる」における研究の最新情報を紹介し、NASA の Dr. Venkateswaran、Dr. Smith からは NASA が ISS で実施している微生物研究の紹介、ESA の Dr. Laseeur からは ESA の微生物研究およびライフサポートシステムの紹介が行われた。



11月17日

Radiation and human-microbe interaction を主題として、A03-01 根井班と共同で、根井班の藤森分担研究者から HIMAC での研究紹介、DLR の Dr. Möller からは宇宙環境でのモデル微生物を用いた研究の紹介、DLR の Dr. Beblo-Vranesevic からは宇宙の極限環境における微生物研究の紹介、DLR の Dr. Leuko からは、隔離された環境での微生物挙動についての紹介が行われた。

11月18日

日本、NASA、ESA、DLR の研究についての情報交換を行い、今後の共同研究実施について具体的な議論が進捗した。来年度中に NASA に研究者を派遣して共同研究を実施する見込みとなった。また、ミニレビューの執筆を進め、下記が発行されることとなった。

特集「宇宙の極限環境から生命体の可塑性をさぐる」、宇宙居住と微生物、生体の科学

▶ (A03) 放射線被ばくが主要臓器に及ぼす影響に迫る
「遺伝子改変動物を用いた時空間解析」

招聘期間: 平成 29 年 12 月 2 日～ 平成 29 年 12 月 7 日

●研究代表者／**原田 浩** 京都大学放射線生物研究センター

招 聘 者 : Ester M. HAMMOND 教授 (MRC/CRUK Oxford Institute for Radiation Oncology, University of Oxford)

ベルゴニー・トリボンドーの法則を基に、細胞の放射線感受性が臓器によって異なることが知られている。しかしながら、生体内の多様な微小環境の中で、DNA 損傷の発生頻度と修復効率、さらには放射線感受性が臓器間で如何に異なっているのかは、完全には解明されていない。我々の研究グループ (A03 公募班) は、様々な線質の放射線によって生じる DNA 損傷の程度と修復効率が、微小環境の異なる臓器間で如何に異なるのか、その差異を既定する因子は何であるのかを明らかにし、宇宙放射線被ばくが生体に及ぼす影響を統合的に理解することを目指して研究を進めている。我々が共同研究を進めている英国 Oxford 大学の Hammond 教授の来日により、①更なる研究の進展が期待されることはもとより、②原田がオーガナイズする国際シンポジウムで講演の場と若手研究者との交流の場を設けることで、日本の研究コミュニティの活性化に繋がると考え、同教授を招聘するにいたった。



2017 年 12 月 4 日～5 日にホテル・コープイン京都で開催した国際シンポジウム (33rd International Symposium of Radiation Biology Center, Kyoto Univ) で、Hammond 教授から “Understanding and exploiting the hypoxia-induced DNA damage response” とのタイトルで以下の内容をご講演頂いた (図 1、2)。放射線によって生じた DNA 損傷を修復する際には、デオキシヌクレオシド三リン酸 (dNTPs) が必要となる。その産生を担う酵素 Ribonucleotide Reductase (RNR) は酸素要求性であるため、酸素分圧が低下するような極限環境下および臓器内で、如何にして dNTPs が供給されるのかは不明であった。同教授らの研究グループは、RNR のコファクターとして機能する RRM2 という蛋白質に着目し、その RRM2b というアイソフォームが低酸素環境下でも RNR の活性を維持するために機能することを発見した (Foskolou et al. Mol Cell. 66:206-220. 2017)。この成果は、低酸素という極限条件下で DNA 損傷修復機構の活性が維持されるメカニズムを解明した研究として、また、微小環境の異なる臓器間で細胞の放射線感受性が異なる理由を理解する上で、大きな注目を集めた。

翌 12 月 6 日には、同教授を京都大学放射線生物研究センターにお迎えし、若手研究者とのディスカッションと交流を図る機会を設けた。我々の研究プロジェクトの進展のみならず、日本人若手研究者の育成においてもポジティブな影響を得られたことから、同教授を日本へ招聘した意義は大きかったと考える。

この様な機会を与えて下さいました “新学術領域研究・宇宙に生きる” の古川聡領域代表と国際活動支援班の諸先生方に感謝申し上げます。



▶ (A02-2) 前庭系可塑性応答の統合的理解と適応障害対策

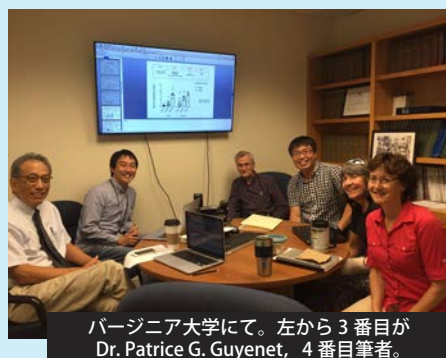
派遣期間：平成28年8月25日 ～ 平成28年9月9日

●連携研究者／安部 力 岐阜大学大学院医学系研究科

はじめまして、岐阜大学の安部力と申します。私は、新学術領域「宇宙に生きる」の国際共同研究加速基金にて、2016年8月25日から9月9日までアメリカ合衆国に行かせていただきました。今回の訪問先は、カリフォルニア州サンディエゴ（8月25日～8月31日）、バージニア州シャーロットビル（8月31日～9月5日）、フロリダ州タラハシー（9月5日～9月9日）の3都市で、それぞれの都市で実験やディスカッションを行いました。その内容を少しお話ししたいと思います。

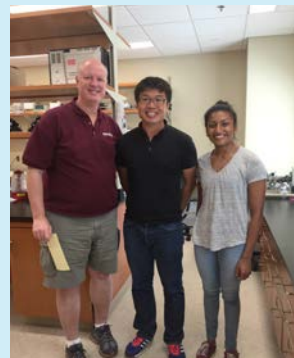
サンディエゴでは、「きぼう」利用テーマ：マウスを用いた宇宙環境応答の網羅的評価（代表：高橋智教授）の実験をしに行きました。我々の研究室（森田啓之教授）では内耳前庭系の研究を行っています。前庭系は非常に可塑性の強い器官であり、重力環境の変化でその性質が変わってしまいます。今回の実験では、約1か月間宇宙ステーションに滞在したマウスの前庭神経節や前庭神経核を採取して、どのような遺伝子が前庭系の可塑的变化に関与しているかを網羅的に調べることを目的としています。現在、サンプルの検査を行っており、近い将来、興味深い結果を紹介できることと思います。

シャーロットビルでは、バージニア大学の Dr. Patrice G. Guyenet の研究室を訪問しました。私は2014年から2016年の2年間、Dr. Guyenet の研究室で橋・延髄領域（C1ニューロン）の光遺伝学（オプトジェネティクス）を用いた自律神経系制御の研究を行っていました。また、留学の後期には、前庭神経核の光制御の研究も行っていました。現在、我々は、前庭系の可塑性の研究にこの方法や薬理遺伝学（DREADD）の方法を取り入れることができないかどうかを考えています。今回の訪問では、我々が考えている実験系の可能性について様々な分野の研究者たちとディスカッションを行い、多くの貴重なコメントをいただきました。



バージニア大学にて。左から3番目が Dr. Patrice G. Guyenet, 4番目筆者。

タラハシーでは、フロリダ州立大学の Dr. Michael Delp の研究室を訪問しました。Dr. Delp はサンディエゴでの実験の共同研究者であり、1Gとは異なる重力環境や尾部懸垂のような環境に曝露された時に、上肢と下肢の血管系で構造や機能がどのように変化するかを調べています。今回の訪問では、ヒラメ筋の栄養血管に細く引きのばしたガラス管を挿入して固定し、数種類の薬剤を投与した時に血管がどのように変化するかを調べる実験をさせていただきました。また、我々は前庭-動脈血圧反射の研究を行っていることから、彼らと循環器系を通じて何か共同実験ができないかを模索しました。私が訪問する数日前にハリケーンが上陸し、研究室のインフラ設備がダウンしていてバタバタな状態でしたが、非常に親切にいただきました。



フロリダ州立大学にて。1番左が Dr. Michael Delp. 中央が筆者。

今回の訪問を通じて、国際交流を通じて行う共同研究の重要性を認識することができました。この経験や交流を生かして、これからの宇宙研究の発展に貢献できたらと思います。最後になりましたが、このような貴重な機会を与えてくださった関係者の方々に厚く御礼を申し上げます。

▶ (A03) 微小重力環境における宿主
- 病原体の相互作用変化をもたらす分子基盤の解明

派遣期間: 平成 28 年 9 月 18 日 ~ 平成 28 年 10 月 12 日

●連携研究者 / 浅岡 洋一 山口大学大学院医学系研究科

このたびは新学術領域「宇宙に生きる」国際共同研究加速基金の支援により、オーストリア国の Institute of Science and Technology (IST) にて約 3 週間にわたり共同研究を実施いたしました (2016 年 9 月 18 日~10 月 12 日)。今回の海外派遣では、扁平メダカ hirame 変異体を用いたこれまでの私共の研究成果をさらに発展させるため、小型魚類を用いたメカノバイオロジー研究の第一人者である Carl-Philipp Heisenberg 博士との共同研究を行い、重力に拮抗する三次元の体作りのメカニズムを明らかにすることが主たる目的でした。以前から Heisenberg 博士には hirame 変異体の力学的解析に関して様々なサポートを頂いておりましたが、今回の訪問ではより高度な実験解析手法をご指導頂けるチャンスに恵まれとても意義深いものとなりました。小型魚類の胚を対象とした FRAP (光褪色後蛍光回復) 解析においては、高速撮影可能な最新鋭のスピンニングディスク型共焦点顕微鏡を使用させて頂きました。非常にタイトなスケジュールではありましたが、その中で FRAP 解析法を習得し実際に私自身の手で観察操作の全てを行うことができたことは、今回の訪問で得た最大の成果です。改めて高精度 in vivo 蛍光観察技術の重要性を肌で感じる事ができました。

また、Heisenberg 博士の研究室では胚組織の物理的伸展実験を行うために、一からハンドメイドで力学測定装置を構築しており、その精巧さには大変驚かされました。日本から持参したサンプルの張力測定をお願いしたところ、研究室のメンバーが快く引き受けてくれた上に深夜まで時間を惜しまず協力してくれました。今回こうした密な研究交流を通じて新たに海外研究者と知り合う貴重な機会が得られたことは、これからの研究人生にとって大きな糧となると確信しています。

最後に、今回の海外派遣の機会を与えて下さいました、古川聡代表をはじめ国際活動支援班の先生方ならびに推薦者の清木誠教授に心より感謝申し上げます。有り難うございました。



Carl-Philipp Heisenberg 研究室のラボメンバー達とのランチ風景

▶ (A03) 宇宙リスク管理のためのナノマイクロデバイスを用いた DNA 損傷検出システムの開発—新規放射線被ばくバイオマーカーとしてのテロメア長測定の検討—

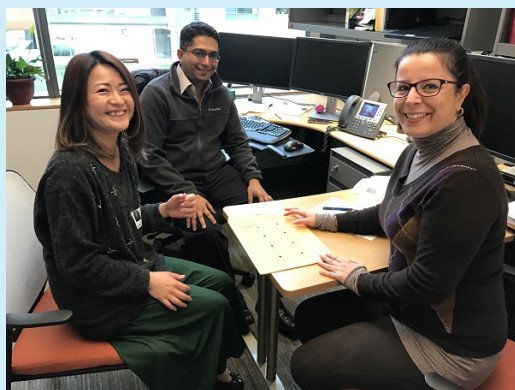
派遣期間：平成29年1月24日 ～ 平成29年2月3日

●研究代表者／中村 麻子 茨城大学理学部

今回、科研費「国際共同研究加速基金」の支援をいただき、2017年1月下旬より約10日間アメリカ合衆国の米国食品医薬品局（U.S. Food and Drug Administration: FDA）を訪問してまいりました。FDA/Center for Drug Evaluation and Research には筆者が米国立衛生研究所（National Institutes of Health: NIH）に在籍していた時代の同僚が数多く働いており、今回の訪問先である Ashutosh Rao 博士も同じ NIH のグループで研究していた十数年来の知人です。これまで Rao 博士とは、放射線生物影響の一つである循環器疾患誘発メカニズムについて共同研究を進めてきました。そうした中、今年度、テロメア長短縮と放射線リスクの相関性を評価する共同プロジェクトが FDA に採択され、まさにこれはチャンスと具体的な共同研究計画を話し合うために訪問しました。

滞在中は、Rao 研究室の연구원と一緒に放射線照射後のマウス臓器やヒト培養細胞を用いてテロメア FISH を行い、実験手法や最適な解析方法について検討しました。テロメア FISH はとてもシンプルな実験なのですが、実験を行う人の「手」に左右されることが多く、いかに再現性のある安定なデータを得るかを十分に議論しました。いくつかのサンプルでは染色が不十分であるなど失敗もありましたが、興味深いデータが得られはじめています。これまでの放射線被ばくバイオマーカーはリン酸化 H2AX に代表されるように高感度であっても DNA 損傷の修復に伴って消失してしまい、被ばくの痕跡を検出することに限界がありました。しかし、テロメア長測定による放射線被ばくの評価は、宇宙滞在中の放射線リスクを予測するための有益なバイオマーカーとして期待されます。

今回の支援によって、テロメア長測定による放射線被ばく線量の評価、という新しい国際共同研究プロジェクトをスムーズにスタートできたことは間違いありません。このような機会を与えてくださいました国際活動支援班の皆様に改めてここでお礼申し上げます。



▶ (A03-3) 閉鎖環境における微生物の変遷

派遣期間: 平成 29 年 3 月 27 日 ~ 平成 29 年 4 月 2 日

●研究分担者 / 山崎 丘 帝京大学 大学院医学研究科

「宇宙に生きる」国際共同研究加速基金を利用して、宇宙に関わる微生物学、生命科学、医学研究グループの研究者らと広く情報交換する機会をいただきましたので、報告させていただきます。

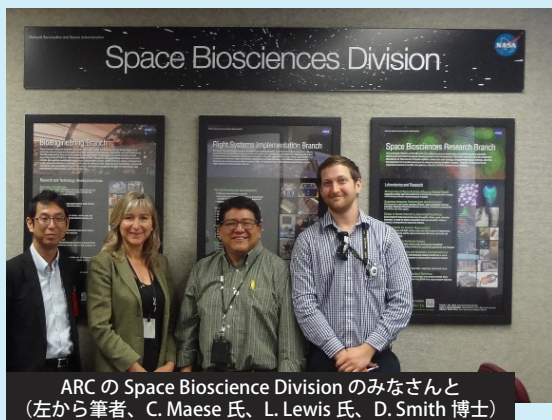
3 月 28、29 日に、米国テキサス州ヒューストン郊外の Universities Space Research Association (USRA) にて、Microbiome 研究 (Study of the Impact of Long-Term Space Travel on the Astronauts' Microbiome) の PI である Hernan Lorenzi 博士とお会いしました。Microbiome 実験は日本の微生物研究グループも注目しており、日本の Myco 研究 (Mycological Evaluation of Crew Exposure to ISS Ambient Air) について紹介した上で、プロトコールや進捗、今後の研究協力などについて議論しました。

また、USRA からほど近い NASA ジョンソン宇宙センター (JSC) を訪問し、以前より微生物研究分野において協力関係にある Biomedical Research and Environmental Sciences Division の C. Mark Ott 博士、International Space Station (ISS) Program の Tara M. Ruttley 博士と、ISS における研究リソースの共有をはじめとする国際間研究協力の推進について議論しました。

続いて、カリフォルニア州モフェットフィールドに移動し、3 月 31 日に NASA Ames 研究センター (ARC) を訪問しました。ARC には数多くの宇宙生命科学系研究室があり、Space Biosciences Division の David J. Smith 博士に案内いただきました。Science Directorate (Code S) からは、Branch Chief の Marianne B. Sowa 博士、Division Chief の Sid Sun 氏、Project Scientist の Fathi Karouia 博士に出席いただき、ARC の研究体制や、現在推進している生命科学研究について紹介がありました。医学研究分野については、Deputy Chief の A. Christopher Maese 氏、Laura Lewis 氏から、宇宙飛行士の超長期滞在に向けた重要研究課題や対策の検討についてご説明いただきました。また、Synthetic Biology について Jonathan M. Glazka 博士と、Astrobiology について R. Craig Everroad 博士と情報交換を行いました。ここで紹介した以外にも多くの方々と幅広く意見交換をする機会があり、宇宙生命科学、宇宙医学に関わる研究者の一人として、国際間協力を推進する必要性と意義を強く感じました。



かつて Lunar Receiving Laboratory と呼ばれていた JSC の Building 37 にて (左から C. M. Ott 博士、筆者)



ARC の Space Bioscience Division のみなさんと (左から筆者、C. Maese 氏、L. Lewis 氏、D. Smith 博士)

▶ (A02-3) 想定外のストレス下での精神・自律神経系の恒常性維持機構の解明

派遣期間: 平成29年4月19日 ~ 平成29年4月25日

●研究分担者 / 笹原 信一郎 筑波大学医学医療系

●研究分担者 / 平井 康仁 筑波大学医学医療系

●研究協力者 / Andrea Christina Sylvia 筑波大学医学医療系

松崎班（筑波大学産業精神医学・宇宙医学グループ）では、長期閉鎖空間でのメンタルヘルスマネジメントの開発について研究を行っており、ISSやMarsミッションを模した閉鎖環境での実験により、ストレス研究の理想的なプラットフォームの形成を目指している。

今回、我々が着目した概念の1つである、植物や自然がメンタルヘルスに及ぼす影響については、これまでに多くの研究があり、Iwasaki教授らは植物に触れるだけで無意識化で穏やかになると報告している(Koga and Iwasaki, J Physiol Anthropol, 2013)。現在、我々はNature-basedでhorticulturalなアプローチを検討中である。そこで、長期宇宙滞在における閉鎖環境での植物のストレス緩和効果と課題遂行能力改善効果、また精神的健康への貢献を議論するために、スウェーデンにおいてNature-based rehabilitationを実施している2つの施設を訪問することとした。

はじめに、スウェーデン大学のPatrik Grahn教授とミーティングの機会を持つことができた。Patrik Grahn教授の専門分野であるNature-assisted therapyと、その応用としてのストレス・リハビリテーションおよびヘルス・プロモーションについての議論は、宇宙および閉鎖空間におけるhorticulturalなアプローチの方法論という点で非常に有用な議論となった。今後、宇宙環境におけるnature-assisted rehabilitationを実施するための適切な条件を確立するための共同研究の基礎を築くため、われわれは宇宙条件を模倣できる近代的な植物研究のプラットフォームであるAlnarpのBiotron施設が大変参考になるのではないかと考えている。

第2回目のミーティングは、Gothenburg Botanical Garden（Gothenburg、スウェーデン）のGreen RehabプログラムのマネージャーであるEva-Lena Larsson博士と行うことができた。彼らはストレス関連の回復そしてリハビリテーションのために庭園と自然を活用していた。彼らの研究にはストレス関連疾患のためのnature-assisted rehabilitationだけでなく、健康な被験者のストレス管理セッションも含まれていた。これらは我々が注目している閉鎖空間や長期宇宙滞在中におけるストレス発生や精神的健康の増悪の予防という点において大変参考になるものであると考えられた。

今回の訪問で得られた経験とアイデアを活用して、宇宙および閉鎖ストレス研究におけるnature-assistedなアプローチの実施に関する現在の計画を発展・統合させていきたい。



▶ (A01-3) 骨格筋の発達・維持萎縮における負荷依存性の分子基盤の理解

派遣期間: 平成 29 年 6 月 14 日 ~ 平成 29 年 6 月 29 日

●連携研究者／**荒井 宏行** 京都大学 ウイルス・再生医科学研究所

この度、新学術領域「宇宙に生きる」の科研費国際活動支援により、アメリカ合衆国（ボストン、カリフォルニア）にて様々な研究者の方と情報交換をさせていただいたので、簡単に滞在先での内容をご報告させていただきます。

我々の研究室では宇宙環境が生物におよぼす影響について筋肉を中心に遺伝子から行動レベルの研究を行っています。そのため（１）筋幹細胞の動態、（２）動物の行動解析、（３）タンパクレベルの評価、は重要なポイントになります。今回の滞在先ではこれらについて情報収集及びディスカッションを行いました。

（１）国際幹細胞生物学会 (ISSCR, Boston, 6 月 14-17 日)

今回の学会では自身の研究発表を行うとともに、筋幹細胞を含めた幹細胞研究の情報収集を行いました。中でも H.Blau 研の CyTOF という手法を用いて、筋幹細胞の多様性と特性をとらえた研究発表が印象的でした。今後の筋幹細胞の動態を評価するにあたり非常に参考になりました。

（２）内田 光子 博士 (Harvard Univ., Boston, 6 月 19-23 日)

内田先生は神経科学分野、特に報酬系の研究をされています。この分野は歴史的にも古くから、質の高い行動解析実験がなされています。内田研ではマウスの歩行、リッキング、目や髭の動き等の行動解析を勉強させていただきました。研究室メンバーの多くは各個人で独自に一から解析系（ハードとソフト両面）を組み立てており、彼らの系の構築法、具体的な解析手法（Matlab プログラミング等）についての情報は非常に勉強になりました。宇宙環境における魚の行動解析を行うにあたり、非常に有益な情報を得られました。



左：筆者、右：内田光子先生

（３）鶴下 直也 博士 (JN Biosciences LLC, Mountain View, 6 月 26-29 日)

鶴下先生はカリフォルニアで抗体医薬のバイオベンチャーを立ち上げられており、今回は目的タンパク質に対する抗体作製に関してディスカッションをさせていただきました。また、鶴下先生が Stanford 大学で postdoc をされていた縁から、大学でセミナーを行う機会をいただき、発表・ディスカッションをさせていただきました。主に生命科学分野の日本人研究者が中心となって運営されているセミナーで、セミナー後もアメリカでの研究について非常に参考になる話を聞かせていただきました。



LSJ セミナーメンバーと
(左から 3 番目：鶴下博士、右奥：筆者)

最後に、この度はこのような貴重な機会を与えてくださり有難うございます。今後少しでも宇宙研究に貢献できるよう努めていきたいと思います。

▶ (A01-3) 骨格筋の発達・維持萎縮における負荷依存性の分子基盤の理解

派遣期間:平成29年11月20日 ～ 平成29年12月10日

●協力研究者 / 田渕 麻衣 京都大学(修士課程2年) ウイルス・再生医科学研究所

NASA 及び Fred Hutchinson Cancer Research Center 訪問について

この度、新学術領域「宇宙に生きる」の国際共同研究加速基金により、2017年11月20日から12月10日までアメリカ合衆国に行かせていただきました。今回の訪問先は、JAXA つくば宇宙センター(2017年11月21日)を経て、(1) NASA John F. Kennedy Space Center(11月21日から12月6日)、(2) Fred Hutchinson Cancer Research Center(12月6日から12月8日)の2箇所で、宇宙実験の準備や骨格筋研究に関するディスカッションを行いました。その内容を簡単にご報告させていただきます。

(1) NASA John F. Kennedy Space Center

打ち上げまで JAXA つくば宇宙センターから持ってきたゼブラフィッシュの飼育の手伝いを行いました。打ち上げ予定は変動することが多々あり、それに対応できるように先を見据えて準備を行う必要があります。射場では、制限されることが多い中で最大限より良い状態で実験を進めるためのディスカッションやスケジュール管理などを実際に間近で見ることができ大変勉強になりました。



Kennedy Space Center にて。
左から佐藤文規先生(京都大学)、
河野靖さん・内田智子さん(JSF)、筆者、
谷垣文章さん・東端晃さん(JAXA)

(2) Fred Hutchinson Cancer Research Center

Dr. Tapscott の研究室を訪問し、平向洋介博士にお会いしました。進行中の「幹細胞のイメージングプロジェクト」に関する打ち合わせだけでなく、研究に対する考えや日本を離れ、海外で研究に取り組む意義など様々なお話をさせていただき、非常に有意義な時間になりました。



左:平向洋介博士、右:筆者

今回の訪問を通じて、国内にとどまらず、広い視野を持って共同研究を行う重要性を実感することができました。そこで、研究に対する人々の熱意に触れ、これから私自身も少しでも研究に貢献できるように努めていきたいと思っています。最後になりましたが、このような貴重な機会を与えてくださった関係者の方々に感謝いたします。

Mitochondrial dysfunction leads to ECM breakdown in muscle cells

©Surabhi Sudevan (Tohoku University)



▶ Background

Muscle atrophy is the loss of muscle mass or activity and is a common phenomenon in aging, long duration bed rest, neuromuscular diseases, as well as in spaceflight. Mitochondrial dysfunction has been connected with muscle atrophy in several studies, the exact molecular pathway is still unclear.

A study conducted by the European Space Agency found that mitochondrial alterations accompany skeletal muscle defects on exposure to gravitational unloading (Shenkman et. al., 2002). Spaceflight experiment using *C. elegans* from our laboratory also indicated that microgravity results in downregulation of several mitochondrial and muscle related genes. In addition, several extracellular matrix (ECM) proteins, including collagen are also downregulated, indicating to the possibility that ECM may play a role in muscle atrophy (Higashitani et. al., 2016, Microgravity). Since current reports fail to provide a clear understanding of the role of ECM in muscle atrophy, we laid out our objectives as follows:

- To understand if mitochondrial dysfunction can directly lead to muscle atrophy
- To understand the role of Collagen (ECM component) in the regulation of muscle structure and in providing protection against muscle atrophy

▶ Results

We found that treatment of wild type *C. elegans* with Antimycin A (an Electron Transport Chain inhibitor) leads to paralysis as well as muscle damage. Surprisingly, overexpression of EMB-9 (Collagen IV) could suppress the motility defect as well as muscle damage (wavy myofilaments). On the other hand, similar wavy myofilaments were observed when the EMB-9 TS mutant (g34) was kept under restrictive temperature. In addition, treatment with a Furin (Ca^{2+} proprotein convertase) inhibitor or a Matrix metalloproteinase (MMP) inhibitor could also rescue the muscle damage mediated by Antimycin A. We also observed decrease in Collagen protein level as well as an increase in muscle cytoplasmic Ca^{2+} concentration upon Antimycin A treatment, monitored through western blot analysis and GCaMP3.35 imaging system respectively. Ryanodine receptor (RyR, Ca^{2+} channel on ER, *unc-68* in *C. elegans*) mutant animals were resistant to Antimycin A treatment, indicating that the cytoplasmic Ca^{2+} overload via RyR is essential for the muscle damage. This leads us to conclude that upon mitochondrial dysfunction, Ca^{2+} overload mediated activation of Furin and downstream activation of MMPs leads to degradation of Collagen, which further results in muscle atrophy. Finally, we believe that ECM plays a very important role in maintaining muscle structure and activity, and mitochondrial dysfunction could deteriorate ECM stability in muscle cells.

▶ Future

As both mitochondrial dysfunction and muscle atrophy have been observed in spaceflight experiments, it would be very interesting to see if it can be rescued with Furin inhibition. We would also like to study if calcium signaling is upregulated in response to microgravity.

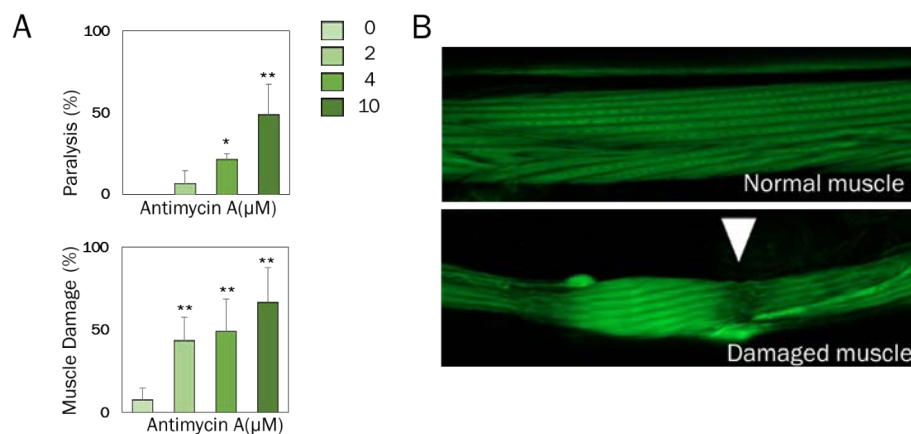


Figure 1: Mitochondrial damage mediated by Antimycin A causes muscle defects in wild type *C. elegans* (A) Quantification of muscle paralysis(upper panel) and muscle damage(lower panel) with increasing concentrations of Antimycin A. (B) Representative image of a normal(upper panel) and damaged(lower panel) muscle cell.

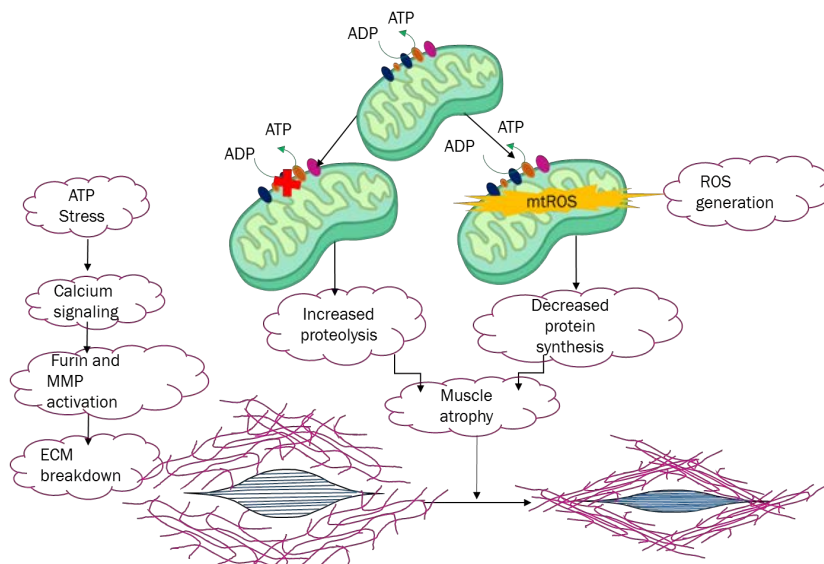


Figure 2: Mitochondrial dysfunction directly causes muscle atrophy through ECM breakdown. In case of mitochondrial dysfunction, there is an upregulation of intracellular calcium which leads to Furin activation. Furin then further activates MMPs which degrade collagen, an important step leading to muscle atrophy.

▶ 新学術領域研究「宇宙に生きる」2018年度名簿

領域代表者	古川 聡	宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・上席研究開発員			
1) 総括班	岩崎 賢一	日本大学 医学部・教授		東谷 篤志	東北大学 大学院生命科学研究所・教授
	瀬原 淳子	京都大学 ウィルス・再生医科学研究所・教授		東端 晃	宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主任開発員
	高橋 昭久	群馬大学 重粒子線医学研究センター・教授		日出間 純	東北大学 大学院生命科学研究所・准教授
	長瀬 博	筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授		古川 聡	宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・上席開発員
	那須 正夫	大阪大谷大学 薬学部・客員教授		松崎一葉	筑波大学 大学院医学医療系・教授
	成瀬 恵治	岡山大学 大学院医歯薬学総合研究科・教授		村井 正	宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・参事
	根井 充	放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・プログラムリーダー		森田 啓之	岐阜大学 大学院医学系研究科・教授
	2) 計画研究班				
	研究代表者	研究分担者		連携研究者	
A01-1	成瀬 恵治 岡山大学 大学院医歯薬学総合研究科・教授	高橋 賢 曾我部 正博	岡山大学 大学院医歯薬学総合研究科・助教 名古屋大学 医学系研究科(研究院)・特任教授	二川 健 小林 剛 片野坂 友紀	徳島大学 大学院医歯学研究所・教授 名古屋大学 医学部・講師 岡山大学 大学院医歯薬学総合研究科・助教
A01-2	東谷 篤志 東北大学 大学院生命科学研究所・教授	東端 晃 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主任研究開発員		佐藤 修正	東北大学 大学院生命科学研究所・准教授
A01-3	瀬原 淳子 京都大学 ウィルス・再生医科学研究所・教授	佐藤 文規	京都大学 ウィルス・再生医科学研究所・特定助教	内田 智子 白川 正輝	一般財団法人 日本宇宙フォーラム 研究開発員 宇宙航空研究開発機構 技術領域主幹
A02-1	岩崎 賢一 日本大学 医学部・教授	小川 洋二郎 柳田 亮 田子 智晴 大平 宇志	日本大学 医学部・准教授 日本大学 医学部・兼任講師 日本大学 医学部・助手 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・研究開発員	篠島 亜里 鈴木 孝浩 上田 要 前田 剛 廣瀬 倫也 近藤 裕子	日本大学 医学部・助教 日本大学 医学部・教授 日本大学 医学部・兼任講師 日本大学 医学部・准教授 日本大学 医学部・助手 日本大学 医学部・助教
A02-2	森田 啓之 岐阜大学 大学院医学系研究科・教授	上田 陽一 梶 博史 村谷 匡史 岩崎 真一	産業医科大学 医学部・教授 近畿大学 医学部・教授 筑波大学 医学医療系・准教授 東京大学 医学部附属病院・准教授	安部 力	岐阜大学 大学院医学系研究科・准教授
A02-3	松崎 一葉 筑波大学 医学医療系・教授	笹原 信一朗 大井 雄一 斉藤 環 井上 夏彦 平井 康仁	筑波大学 大学院医学医療系・准教授 筑波大学 大学院医学医療系・助教 筑波大学 大学院医学医療系・教授 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主任研究開発員 筑波大学 大学院医学医療系・助教		
A02-4	長瀬 博 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授	船戸 弘正 徳山 薫平 北川 博之 小久保 利雄 松田 千栄	筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授 筑波大学 体育系・教授 筑波大学 システム情報系・教授 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主任研究員	梅村 雅之 佐藤 誠 大蔵 倫博 柳沢 正史	筑波大学 計算科学研究センター・教授 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授 筑波大学 体育系・准教授 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授
A02-5	古川 聡 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・上席研究開発員	緒方 克彦 大島 博 鈴木 豪 村井 正	宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・総括開発員 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主幹開発員 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主任医長 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・参事	井上 夏彦 大平 宇志 野沢 佑子 松田 千栄 鈴木 健之 阿部 高志	宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主任研究開発員 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・研究開発員 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主任研究員 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・プロジェクト研究員 筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構
A03-1	根井 充 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・センター長	王 冰 勝部 孝則 藤森 亮 丸山 耕一 中島 徹夫 鈴木 健之	放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・チームリーダー 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・主任研究員 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・チームリーダー 放射線医学総合研究所 福島復興支援本部・主任研究員 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・チームリーダー 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・プロジェクト研究員	二宮 康晴 田中 薫 劉 翠華 Guillaume Vares	放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・主任研究員 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・主任研究員 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・主任研究員 沖縄科学技術大学院大学・研究員
A03-2	高橋 昭久 群馬大学 重粒子線医学研究センター・教授	日出間 純	東北大学 大学院生命科学研究所・准教授	吉田 由香里 池田 裕子 寺西 美佳 泉 正範 Anggraeini Puspitasari	群馬大学 重粒子線医学研究センター・助教 群馬大学 重粒子線医学研究センター 東北大学大学院生命科学研究所・助教 東北大学大学院生命科学研究所・助教 群馬大学 未来先端研究機構・助教
A03-3	那須 正夫 大阪大谷大学 薬学部・客員教授	谷 佳津治 堀 克敏 一條 知昭 藤山 英保 杉田 隆 横村 浩一 山崎 丘 山口 進康 内井 喜美子 中谷 肇	大阪大谷大学 薬学部・教授 名古屋大学 工学研究科・教授 大阪大学 大学院薬学研究科・助教 鳥取大学 農学部・特任教授 明治薬科大学 薬学部・教授 帝京大学 大学院医学研究科・教授 帝京大学 大学院医学研究科・講師 大阪大学 大学院薬学研究科・准教授 大阪大谷大学 薬学部・助教 名古屋大学 工学研究科・講師	嶋津 徹 山口 進康 見坂 武彦 張 音実 川井 真好 佐藤 一朗	日本宇宙フォーラム 宇宙利用事業部・主任研究員 大阪健康安全基盤研究所・衛生化学部・総括研究員 大阪大学 薬学部・准教授 明治薬科大学 薬学部・特認研究員 姫路獨協大学 薬学部・准教授 帝京大学 医療共通教育研究センター・講師

3) 公募研究班

	研究代表者	連携研究者（研究協力者）
A01	秋山 泰身 理化学研究所 統合生命医科学研究センター・チームリーダー	森田 啓之 岐阜大学 大学院医学系研究科・教授
	越智 広樹 東京医科歯科大学 医歯薬・助教	
	茶谷 昌宏 昭和大学 歯学部歯科薬理学講座・助教	工藤 明 東京工業大学 大学院生命理工学研究科・教授
	清木 誠 山口大学 大学院医学系研究科・教授	北川 孝雄 山口大学 医学部・助教
	二川 健 徳島大学 医歯薬研究部・教授	
	川上 浩一 国立遺伝学研究所・教授	武藤 彩 国立遺伝学研究所・助教 田辺 英幸 国立遺伝学研究所・博士研究員 小谷 友理 国立遺伝学研究所・博士研究員
	富田 拓郎（沼賀 拓郎） 自然科学研究機構・助教	西田 基宏 自然科学研究機構岡崎統合バイオサイエンスセンター・助教 西村 明幸 自然科学研究機構岡崎統合バイオサイエンスセンター・特任助教
	本田 陽子 早稲田大学 理工学研究所・招聘研究員	本田 修二 早稲田大学 理工学研究所・招聘研究員
A02	篠原 正浩 東京医科歯科大学 医歯薬・講師	高橋 智 筑波大学 医学医療系・教授 芝 大 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・主任研究開発員 森田 啓之 岐阜大学 大学院医学系研究科・教授
	前川 洋一 岐阜大学大学院医学系研究科・教授	森田 啓之 岐阜大学 大学院医学系研究科・教授
	大神 信孝 名古屋大学 大学院医学系研究科・講師	
	西村 渉 国際医療福祉大学・医学部・教授、自治医科大学・医学部・非常勤講師	
	河野 史倫 松本大学 大学院健康科学研究科・准教授	山田 一哉 松本大学 大学院健康科学研究科・教授 中田 研 大阪大学 大学院医学系研究科・教授
	岩瀬 敏 愛知医科大学 医学部・特任教授	川島 均 松本大学 松商短期大学部・准教授 二村 圭祐 大阪大学 大学院医学系研究科・准教授
	古市 卓也 名古屋経済大学 人間生活科学部・教授	西村 直記 日本福祉大学・准教授 増尾 善久 愛知医科大学・研究員
	明智 煥 沖縄科学技術大学院大学・研究員	玉置 雅紀 国立環境研究所・主席研究員 富松 元 国立環境研究所・特別研究員 矢野 幸子 文科省科学技術・学術政策研究所特別研究員 飯田 秀利 東京学芸大学 名誉教授
	北村 真吾 独立行政法人国立精神・神経医療研究センター・室長	三島 和夫 独立行政法人国立精神・神経医療研究センター・部長
	中村 麻子 茨城大学 理学部・教授	村井正 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門・参事 鈴木 孝明 群馬大学 大学院理工学府・准教授
A03	原田 浩 京都大学 放射線生物研究センター・教授	吉村 通央 京都大学 医学研究科・助教 小林 稔 京都大学 放射線生物研究センター・特定研究員
	井出 博 広島大学 大学院理学研究科・教授	後藤 容子 京都大学 医学研究科・助教 森嶋 章代 京都大学 放射線生物研究センター・研究員
	白井 睦訓 山口大学 大学院医学系研究科・教授・副学長	平山 亮一 量研機構 NIRS/放射線障害治療研究部・主任研究員
	柿沼 志津子 放射線医学総合研究所（NIRS）放射線影響研究部・部長	浅岡 洋一 山口大学 医学系研大学院医学系研究科・講師
		森岡 孝満 NIRS 放射線影響研究部・主任研究員 鶴岡 千鶴 NIRS 放射線影響研究部・研究員 尚 奕 NIRS 放射線影響研究部・研究員 甘崎 佳子 NIRS 放射線影響研究部・研究員 臺野 和広 NIRS 放射線影響研究部・主任研究員
B01	ラザルス ミハエル 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・准教授	坂口 昌徳 筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・准教授
	三輪 佳宏 筑波大学 大学院医学医療系・講師	
	國枝 武和 東京大学 大学院理学系研究科・助教	
	島田 浩二 福井大学 子どものこころの発達研究センター・特命助教	友田 明美 福井大学子どものこころの発達研究センター・教授 藤澤 隆史 福井大学子どものこころの発達研究センター・特命講師
	北宅 善昭 大阪府大 生命環境科学研究科・教授	平井 宏昭 大阪府立大学 大学院生命環境科学研究科・准教授 矢野 幸子 JAXA・有人宇宙技術部門・主任研究開発員/学術政策研究所・特別研究員
	阪上 朝子 理化学研究所 脳科学総合研究センター・研究員	

4) 領域アドバイザー 浅島 誠 東京大学名誉教授
向井 千秋 東京理科大学副学長

5) 事務局 長谷川 早苗 事務支援職員
綱川 恵理香 事務支援職員

編集後記

少々遅くなってしまいましたが、「Living in Space News Letter」の第3号が完成！本領域研究も早くも3年目が終了です。年々、班員間での共同研究数も増加し、また若手の交流や海外との国際共同研究も活発化してきました。今回は、本研究領域ならではの設備紹介とそれを用いた共同研究、研究成果、そして海外交流を中心に編集しました。残り2年というのは少し寂しい気もしますが、これからも皆さんの成果や活動を伝えていきたいと思います。なお、本ニュースレターに關しての掲載希望、ご意見などありましたら、「Living in Space News Letter」編集企画担当・日出間（j-hidema@ige.tohoku.ac.jp）までご連絡ください。（J.H.）



科学研究費助成事業新学術領域研究

「宇宙からひも解く新たな生命制御機構の統合的理解」

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門 気付

〒 305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 筑波宇宙センター

問合せ先／ Tel 050-3362-5434・6154

領域ホームページ／ <http://www.living-in-space.jp/>